

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



**Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación**

TRABAJO FIN DE GRADO

**Implementación de antenas compactas MIMO de banda ultra
ancha**

**Iván Fernández Rodríguez
Tutor: Bazil Taha Ahmed**

Marzo 2021

Implementación de antenas compactas MIMO de banda ultra ancha

AUTOR: Iván Fernández Rodríguez

TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de Radiofrecuencia: Circuitos, Antenas y Sistemas (RFCAS)

Dpto. de Tecnología electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Marzo de 2021

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el estudio y la implementación de antenas con una banda de trabajo ultra ancha, pero utilizando la tecnología MIMO. La banda de trabajo abarca las frecuencias comprendidas entre 3.1GHz y 20 GHz que se corresponden con la banda de cobertura UWB.

En la segunda parte de este trabajo se busca a partir de las antenas anteriores obtener la adaptación en la banda de 2.4 GHz que se corresponde con la frecuencia utilizada por la tecnología WiFi. Además, las antenas deben de seguir siendo MIMO. [4]

La primera parte se centró en el diseño de la antena de un solo elemento que cumpliera con las especificaciones necesarias. Una vez logrado este punto se duplicó el elemento resonante y se pasa a tener una antena MIMO de dos elementos, pero hubo que incluir barreras metálicas en ambas caras para mejorar el aislamiento entre los dos elementos resonantes. Después se pasó a duplicar los dos elementos para así obtener a una antena MIMO de 4 elementos donde también hubo que modificar y añadir nuevas barreras metálicas para mejorar aún más el aislamiento.

Por último, se pasó a la realización de los gerbers y construcción de los diseños en el laboratorio de circuitos impresos de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid. Una vez construidas las antenas se midieron sus parámetros S con el analizador de espectros del grupo RFCAS. Para realizar las medidas es necesario soldar en la línea de alimentación de la antena construida unos conectores del tipo SMA, que es un tipo de conector roscado para cable coaxial utilizado en microondas y que es útil hasta 33 GHz, aunque en la realidad se suele dejar de utilizar a partir de 18 GHz.

Para la realización de este Trabajo Fin de Grado se han utilizado los programas CST (Computer Simulation Technology) para el diseño y simulación de los resultados obtenidos, ADS (Advanced Design Software) para la creación de los gerbers y Matlab para el tratamiento y la representación de los datos obtenidos en las mediciones.

Palabras clave

MIMO, UWB, Antena, Parámetros S, Diagramas de Radiación.

Abstract

The aims of this Final Degree Project are to study and implement antennas with an ultra-wide working band, but using MIMO technology. The working band covers the frequencies between 3.1 GHz and 20 GHz that correspond to the UWB coverage band.

In the second part of this work, we started with the previous antennas to obtain the adaptation in the 2.4 GHz band that corresponds to the frequency used by WiFi technology. Also, the antennas must remain MIMO.

The first part focused on designing the single element antenna that met the necessary specifications. Once this point was achieved, the resonant element was doubled and we now have a two-element MIMO antenna, but metal barriers had to be included on both sides to improve the isolation between the two resonant elements. Later, the two elements were duplicated in order to obtain a 4-element MIMO antenna where new metal barriers had to be modified and added to further improve the isolation.

Finally, the gerbers and the construction of the designs were carried out in the printed circuit laboratory of the EPS in the Autonomous University of Madrid. Once the antennas were built, their S params were measured with the spectrum analyser of the RFCAS group. To carry out the measurements, it is necessary to weld some SMA-type connectors on the antenna's power line, which is a type of threaded connector for coaxial cable used in microwaves and is useful up to 33 GHz, although in reality it is usually left to use from 18 GHz.

To carry out this Final Degree Project, the CST (Computer Simulation Technology) programs have been used for the design and simulation of the results obtained, ADS (Advanced Design Software) for the creation of the gerbers and Matlab for the treatment and representation of the data obtained in the measurements.

Keywords

MIMO, UWB, Antenna, S Params, Radiation diagram.

Agradecimientos

No podía empezar este apartado de agradecimiento de otra forma que no fuera dando las gracias a mis padres y mi hermana. José Luis y Raquel muchísimas gracias por haber sido durante todos estos años un apoyo incondicional sobre todo en los momentos más difíciles, que los ha habido. A mi hermana Marta muchísimas gracias por estar siempre ahí. Estaré eternamente agradecido por el esfuerzo que habéis hecho para que ahora mismo me encuentre redactando estas líneas. Os quiero.

Mención especial a mi tutor del TFG, Bazil, muchísimas gracias por tu ayuda en cualquier momento y a cualquier hora, por nuestras conversaciones a través de WhatsApp o en el bus camino de la universidad. Has conseguido sacar lo mejor de mí y sobre todo aumentar mi interés por el mundo de las antenas y la radiofrecuencia. Gracias también a los demás profesores de la carrera sobre todo a José Luis Masa y Juan Córcoles, con vosotros a pesar de la complejidad de las asignaturas, todo ha sido más sencillo. Gracias también a Jorge Ruiz y en general a todos los que formáis el RFCAS.

Gracias también a mis compañeros de piso, todos ellos telecos o casi telecos, Alberto, Jorge, Juan José y Álvaro, gracias por todos los momentos de estudio, ayudas, gimnasio y por hacer la convivencia mucho más fácil.

Dar las gracias a todos esos compañeros de trabajo de Disco NewLook. Javier, Baltasar, Jorge, Daniel, Julián espero que todo esto pase y podamos volver a recorrer Toledo y Extremadura llevando el show de NewLook por las mejores plazas. No os imagináis lo que se echa de menos, pero volveremos más fuertes.

Y como no, muchas gracias a todos mis alumnos en la academia. Ha sido para mí un auténtico placer ayudaros con vuestras asignaturas de Física, se de buena fe que es difícil aprobar un examen en ingeniería Química, Biomédica y Telecomunicaciones, pero lo superareis con creces este y todos los que os quedan por delante. Dar las gracias a Pascual, por haberme iniciado en este mundo y por su ayuda con lo que necesitara a cualquier hora. Eres muy grande Pascual.

No podía olvidarme de todos los compañeros de mi actual empresa, RF Española, especialmente David, Luismi, Juancho, Ubaldo, Álvaro y Jamil con los cuales es un auténtico placer trabajar y aprender.

Muchas gracias a todos de corazón

Iván Fernández Rodríguez

INDICE DE CONTENIDOS

1 Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	1
2 Conceptos Teóricos	3
2.1 Tecnología MIMO	3
2.2 Teoría de antenas	3
2.3 Tecnología Microstrip	4
2.4 Adaptación de impedancias	4
2.5 Ancho de Banda.....	5
2.6 Ganancia y Directividad	5
2.7 Eficiencia	6
2.8 Parámetros S	6
3 Diseño.....	9
3.1 Diseño de una Antena UWB de 1 Elemento	9
3.2 Diseño de una Antena MIMO UWB de 2 Elementos.....	11
3.2.1 Diseño 1	11
3.2.2 Diseño 2	14
3.3 Diseño de una Antena MIMO UWB de 4 Elementos.....	16
3.4 Diseño de una Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento	18
3.5 Diseño de una Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos....	21
3.6 Diseño de una Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos....	24
4 Resultados Prácticos	27
4.1 Antena UWB 1 Elemento	27
4.2 Antena MIMO UWB 2 Elementos	28
4.2.1 Diseño 1	28
4.2.2 Diseño 2	30
4.3 Antena MIMO UWB 4 Elementos	32
4.4 Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento	34
4.5 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos	35
4.6 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos	37
5 Conclusiones y trabajo futuro.....	39
Referencias	40
Glosario	41
Anexos.....	I
A Diagramas de Radiación	I
A.1 Antena UWB 1 Elemento	I
A.2 Antena MIMO UWB 2 Elementos	III
A.3 Antena MIMO UWB 4 Elementos	VII
A.4 Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento	IX
A.5 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos.....	XI
A.6 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos.....	XIV
B Antena UWB con dos filtros	XVII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Concepto de Antena	
Figura 2.1 Línea Microstrip	
Figura 2.2 Cuadripolo Parámetros S	
Figura 3.1 Antena UWB 1 Elemento	
Figura 3.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento	
Figura 3.3 Parámetros S11 50 GHz Antena UWB 1 Elemento	
Figura 3.4 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 3.5 Parámetros S11 y S21 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 3.6 Parámetros S11 y S21 50 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 3.7 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2	
Figura 3.8 Parámetros S11 y S21 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2	
Figura 3.9 Parámetros S11 y S21 50 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2	
Figura 3.10 Antena MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 3.11 Parámetros S11, S21, S31 y S41 Antena MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 3.12 Parámetros S11, S21, S31 y S41 50 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 3.13 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento	
Figura 3.14 Parámetros S11 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento	
Figura 3.15 Parámetros S11 50 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento	
Figura 3.16 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 3.17 Parámetros S11 y S12 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 3.18 Parámetros S11 y S12 50 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 3.19 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura 3.20 Parámetros S11, S12, S31 y S41 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura 3.21 Parámetros S11, S12, S31 y S41 50 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura 4.1 Antena Construida UWB 1 Elemento Construida	
Figura 4.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento	
Figura 4.3 Antena Construida MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 4.4 Parámetros S11 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 4.5 Parámetros S21 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 4.6 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1	
Figura 4.7 Antena Construida MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2	
Figura 4.8 Parámetros S11 Antena MIMO UWB 1 Elemento Diseño 2	
Figura 4.9 Parámetros S21 Antena MIMO UWB 1 Elemento Diseño 2	
Figura 4.10 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2	
Figura 4.11 Antena Construida MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 4.12 Parámetros S11 Antena MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 4.13 Parámetros S21, S31 y S41 Antena MIMO UWB 4 Elementos	
Figura 4.14 Antena Construida UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento	
Figura 4.15 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento	
Figura 4.16 Antena Construida MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 4.17 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 4.18 Parámetros S21 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 4.19 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos	
Figura 4.20 Antena Construida MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura 4.21 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura 4.22 Parámetros S21, S31 y S41 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos	
Figura A.1 Diagrama Radiación 4 GHz Antena UWB 1 Elemento	
Figura A.2 Diagrama Radiación 7 GHz Antena UWB 1 Elemento	
Figura A.3 Diagrama Radiación 10 GHz Antena UWB 1 Elemento	
Figura A.4 Diagrama Radiación 14 GHz Antena UWB 1 Elemento	

Figura A.5 Diagrama Radiación 19 GHz Antena UWB 1 Elemento
 Figura A.6 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
 Figura A.7 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
 Figura A.8 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
 Figura A.9 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
 Figura A.10 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
 Figura A.11 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
 Figura A.12 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
 Figura A.13 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
 Figura A.14 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
 Figura A.15 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
 Figura A.16 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos
 Figura A.17 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos
 Figura A.18 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos
 Figura A.19 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos
 Figura A.20 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos
 Figura A.21 Diagrama Radiación 2.387 GHz Antena UWB + Banda 2. 4 GHz 1 Elemento
 Figura A.22 Diagrama Radiación 4 GHz Antena UWB + Banda 2. 4 GHz 1 Elemento
 Figura A.23 Diagrama Radiación 7 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
 Figura A.24 Diagrama Radiación 10 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
 Figura A.25 Diagrama Radiación 14 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
 Figura A.26 Diagrama Radiación 19 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
 Figura A.27 Diagrama Radiación 2.48 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.28 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.29 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.30 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.31 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.32 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2. 4 GHz 2 Elementos
 Figura A.33 Diagrama Radiación 2.44 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura A.34 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura A.35 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura A.36 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura A.37 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura A.38 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
 Figura B.1 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.3 Parámetros S11 50 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.4 Diagrama Radiación 3.5GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.5 Diagrama Radiación 5.5GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.6 Diagrama Radiación 5.75GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.7 Diagrama Radiación 6.65GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.8 Diagrama Radiación 8.3GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.9 Diagrama Radiación 9 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.10 Diagrama Radiación 14GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5GHz y 7.5 GHz
 Figura B.11 Diagrama Radiación 17GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
 Figura B.12 Diagrama Radiación 20GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros del sustrato
Tabla 2	Parámetros Antena UWB 1 Elemento
Tabla 3	Parámetros Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
Tabla 4	Parámetros Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
Tabla 5	Parámetros Antena MIMO UWB 4 Elementos
Tabla 6	Parámetros Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
Tabla 7	Parámetros Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos
Tabla 8	Parámetros Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
Tabla 9	Parámetros de Radiación Antena UWB 1 Elemento
Tabla 10	Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1
Tabla 11	Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2
Tabla 12	Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 4 Elementos
Tabla 13	Parámetros de Radiación Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento
Tabla 14	Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos
Tabla 15	Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos
Tabla 16	Parámetros Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz 7.5 GHz
Tabla 17	Parámetros de Radiación 1 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz
Tabla 18	Parámetros de Radiación 2 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

1 Introducción

1.1 Motivación

En los últimos años estamos cada vez más, viviendo inmersos en un mundo más digitalizado y sobre todo más conectado. Este auge de las comunicaciones ha sido posible gracias a todos los dispositivos que soportan una conexión inalámbrica, los cuales han experimentado un aumento considerable en el número de unidades vendidas.

En los últimos años también ha sufrido un importante aumento el diseño, la implementación y el uso de antenas MIMO, debido a su bajo coste, su alta fiabilidad y buen funcionamiento en la transmisión y recepción de señales, pero sobre todo en su uso para dispositivos móviles. En la actualidad, la mayoría de los teléfonos móviles de gama alta que tenemos en el mercado cuentan con la tecnología MIMO 4x4. Esta tecnología cuenta con cuatro antenas que pueden ser utilizadas de manera simultánea para enviar y recibir datos, lo que, en teoría, nos permite multiplicar por 2 la velocidad de transferencia de aquellos teléfonos que cuentan con antenas MIMO 2x2. O incluso multiplicar por 4 el rendimiento de aquellos móviles que solo cuentan con una única antena.

Algunos de los primeros móviles que incorporan este sistema de antenas MIMO 4x4 son el Mate 20 Pro de Huawei o el iPhone XS, y ambos móviles fueron lanzados al mercado en el año 2018. [10]

1.2 Objetivos

Los objetivos de este TFG son los siguientes:

- Diseño de Antena UWB de un elemento.
- Diseño de Antena MIMO UWB de dos elementos.
- Diseño de Antena MIMO UWB de cuatro elementos.
- Construcción de las Antenas y soldado de los conectores SMA.
- Medición de los parámetros S de las antenas construidas.
- Diseño de Antena UWB + banda 2.4 GHz de un elemento,
- Diseño de Antena MIMO UWB + banda 2.4 GHz de dos elementos,
- Diseño de Antena MIMO UWB + banda de 2.4 GHz de cuatro elementos.
- Construcción de las Antenas y soldado de los conectores SMA.
- Medición de los parámetros S de las antenas construidas.
- Valoración y discusión de los valores finales obtenidos.

2 Conceptos Teóricos

2.1 Tecnología MIMO

La tecnología MIMO (acrónimo en inglés de Multiple-Input Multiple-Output) utiliza varios elementos radiantes en los que sus señales de propagación viajan todas ellas a la misma frecuencia y utilizando el mismo canal. Gracias a esto se aprovecha de una manera mejor la propagación multicamino reduciendo la tasa de error y aumentando la tasa de información, por lo tanto, la eficiencia de nuestro sistema de comunicaciones aumenta. [5]

Esta tecnología, al utilizar una propagación múltiple, es capaz de superar obstáculos y llegar correctamente a su destino. Además, gracias a la multiplexación se pueden transmitir diferentes señales en una única frecuencia. También se puede aumentar el número de usuarios y la cobertura sin suponer un aumento del ancho de banda, por lo tanto, estas dos características son muy importantes y nos explican su uso en las redes de área inalámbrica local (acrónimo de WLAN), pero su uso no se limita solo a estas redes, sino que también se usan en telefonía móvil, enrutadores, antenas en dispositivos móviles como teléfonos, tabletas y hasta libros de lectura electrónicos, como el ultimo Amazon Kindle o el One Plus 6T. [10] [11]

2.2 Teoría de antenas

Atendiendo a la definición de una antena, el IEEE nos dice que una antena es aquel dispositivo metálico que es capaz de radiar y actuar de receptor de ondas electromagnéticas e independientemente tanto a la entrada como en la salida de la antena, se aplica una adaptación. [3]

Por tanto, si se trata de una antena transmisora, la señal será transmitida y por otro lado si la antena es una antena receptora, la señal será recibida.

Un elemento fundamental en las antenas es la cobertura y la sensibilidad. La primera depende principalmente de la potencia suministrada al transmisor mientras que la segunda depende del receptor y se define como la cantidad de señal que es capaz de recibir con el menor valor de potencia.[1]

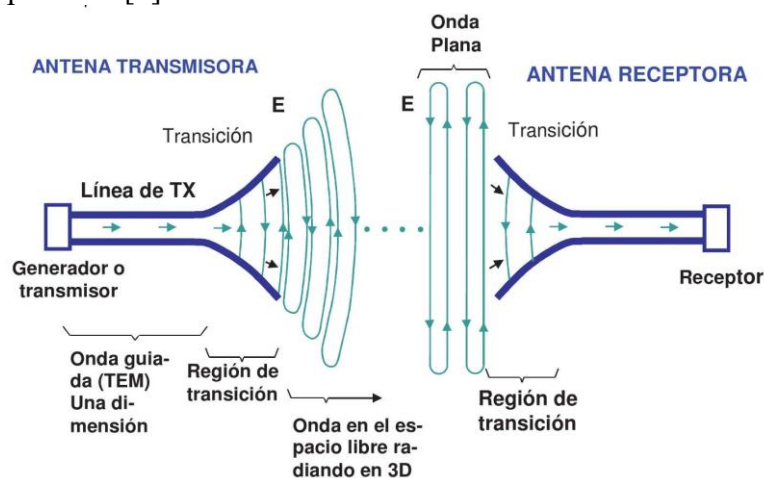


Figura 1 Concepto de Antena

Como se observa en la imagen, desde una antena transmisora se emite una onda esférica, esta onda viaja por el espacio libre y llega hasta la antena receptora que recibe esta onda, pero ahora esta onda es una onda plana. [1]

2.3 Tecnología Microstrip

La tecnología Microstrip es una línea de transmisión abierta formada por dos conductores, que son las dos placas metálicas y dos dieléctricos, uno de ellos el situado entre las dos placas conductoras y el otro el vacío-aire generalmente.

Las placas metálicas no tienen por qué ocupar la totalidad de la superficie del sustrato. La placa metálica inferior no tiene alimentación y será el plano de masa mientras que la placa metálica superior será el elemento radiante y será la que recibe la alimentación del generador. [2]

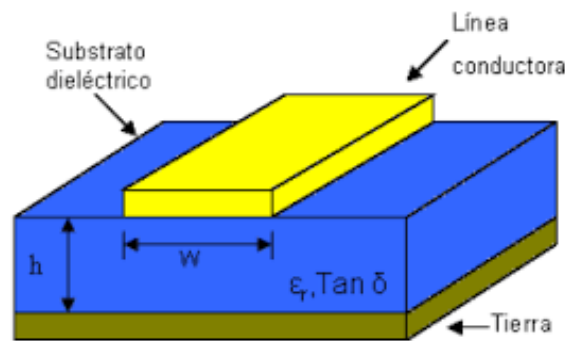


Figura 2.1 Línea Microstrip

La forma de alimentar nuestro elemento radiante cambia, pudiendo utilizar una alimentación mediante sonda coaxial o una alimentación mediante una línea Microstrip, siendo esta última la utilizada en los diseños de antenas de este trabajo fin de grado.

2.4 Adaptación de impedancias

Cuando analizamos una antena tenemos que conocer una serie de parámetros como son las impedancias, tanto las impedancias de entrada como las de salida, así como el generador y la impedancia del mismo.

La impedancia se denota como Z_a , donde $Z_a = R_a + jX_a$ y se mide en Ohmios (Ω).

R_a es la parte real, se denomina resistencia y se mide en Ohmios

X_a es la parte imaginaria, se denomina reactancia y se mide también en Ohmios. Por lo general se intenta diseñar para que esta reactancia sea 0 y así estar en resonancia. [2]

Si alcanzamos la adaptación de impedancias nos aseguramos de que la señal tiene la mejor eficiencia que podemos conseguir, desde nuestro conector SMA hasta el elemento radiante circular.

Por regla general se suelen diseñar impedancias de 50 Ohmios ya que la mayoría de los sistemas transmisores y receptores utilizan este valor de impedancias. Pero las antenas suelen tener impedancias mucho más elevadas que el valor de 50 por lo que necesitamos un transformador de impedancias que sea capaz de dejar la impedancia de la antena sea la que sea en un valor de 50 Ohmios. [3]

En este trabajo fin de grado se ha utilizado un transformador de impedancias llamado taper que es ideal para este tipo de diseños con un ancho de banda muy grande, pero al no estar adaptado a una impedancia concreta sino a una genérica lo que ocurre es que nuestro ancho de banda a pesar de bueno no es el óptimo. El adaptador de impedancias taper se caracteriza por que su anchura en su extremo inferior normalmente tiende a ser mayor o menor que en el extremo superior, nunca igual, aunque normalmente suele ser mayor la anchura del extremo inferior, entendiendo por extremo inferior aquel que está más alejado de la antena y en el que va soldado el conector SMA. [7]

2.5 Ancho de Banda

A la hora de diseñar antenas se busca tener un ancho de banda amplio y a veces nos interesa tenerlo centrado en una frecuencia concreta.

El ancho de banda es el intervalo o rango de frecuencias en las que la transmisión o recepción se realiza de manera eficiente. Al tratarse de un intervalo se puede definir como la resta entre la frecuencia superior o máxima y la frecuencia inferior o mínima.

$$BW = f_{max} - f_{min}$$

Por su parte el ancho de banda relativo se define como el ancho de banda entre la frecuencia central del diseño

$$r_{BW} = \frac{BW}{f_c} \times 100 = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \times 100$$

El criterio que se utiliza a la hora de diseñar cualquier tipo de antenas es el de conseguir una adaptación por debajo de -10dB para la reflexión o parámetros S_{ii} y un valor por debajo de -20dB para el desacoplo entre elementos, que son los parámetros S_{ij} . [1]

2.6 Ganancia y Directividad

La relación entre las ganancias o pérdidas de un sistema de comunicaciones se mide en Decibelios o dBs.

La ganancia de una antena es la relación para todos los puntos del espacio entre la intensidad de radiación de la antena y la de una antena isotrópica que aceptase la misma potencia entregada. [9]

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \times \frac{U(\theta, \phi)}{P_{ent}}$$

La directividad es la ganancia directiva en la dirección en la que la radiación es máxima. Es importante ver que la directividad no depende de la orientación en el espacio de la antena.[1]

$$D_0 = D(\theta, \phi) \geq 0$$

2.7 Eficiencia

El rendimiento o eficiencia de una antena es una medida de las pérdidas totales en los terminales de entrada y en la estructura de la antena. Suele ser muy próximo a 1 y se suele dar en porcentaje.

$$\zeta_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{ent}} = \frac{G_0}{D_0}$$

$$G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) \times \zeta_{rad}$$

En el supuesto de tener una antena con una eficiencia total de 1 o del 100% la ganancia realizada sería igual a la directividad.

2.8 Parámetros S

A la hora de caracterizar un circuito o sistema de radiofrecuencia que utiliza microondas se pueden emplear la matriz Z (Impedancias), Matriz Y (Admitancias), Matriz ABCD y los parámetros S.

Las matrices relacionan tensiones y corrientes mientras que los parámetros S relacionan las amplitudes de las ondas de potencia que entran con las ondas de potencia que salen del circuito. [2]

Para explicar los parámetros S vamos a utilizar como ejemplo el siguiente cuádrupolo de la figura



Figura 2.2 Cuádrupolo Parámetros S

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar en la figura llamamos a_i a las ondas incidentes, que son las que entran al circuito y b_i a las ondas reflejadas que son las que salen del circuito. Con el parámetro i se refiere a la puerta donde ocurre. Por tanto, los parámetros S_{ii} serán los parámetros de reflexión y S_{ji} siendo $j \neq i$ son los parámetros de transmisión,

Si se desarrolla la expresión anterior se obtiene lo siguiente

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11} \times a_1 + S_{12} \times a_2 \\ b_2 &= S_{21} \times a_1 + S_{22} \times a_2 \end{aligned}$$

En este punto para sacar los parámetros hay que igualar $a_1 = a_2 = 0$
Por tanto, queda, que los parámetros S de forma genérica vienen dados por la formula

$$S_{ji} = \frac{b_j}{a_i} \Big|_{a_k=0 \quad \forall k \neq i}$$

De esta forma los parámetros S para un cuádrupolo quedan así:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad S_{11} = \frac{\text{Potencia reflejada en el puerto 1}}{\text{Potencia disponible del generador en el puerto 1}}$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad S_{12} = \frac{\text{Potencia entregada a la carga en el puerto 1}}{\text{Potencia disponible del generador en el puerto 2}}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad S_{21} = \frac{\text{Potencia entregada a la carga en el puerto 2}}{\text{Potencia disponible del generador en el puerto 1}}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad S_{22} = \frac{\text{Potencia reflejada en el puerto 2}}{\text{Potencia disponible del generador en el puerto 2}}$$

3 Diseño

En este capítulo se presenta el diseño de las antenas.

Todos los diseños están realizados con FR-4 que es el material de la placa del sustrato con un espesor de 1.6mm. En ambos lados del sustrato se sitúa una lámina de cobre con un espesor de 0.03mm. El sustrato tiene una permisividad eléctrica de 4.4 y una permisividad magnética de 1. [6]

Parámetro	Valor
Espesor Cobre	0.03 mm
Espesor Dieléctrico	1.6 mm
ϵ_r	4.4
μ_r	1

Tabla 1 Parámetros del sustrato

En UWB las bandas de diseño tienen que estar comprendidas entre las frecuencias de 3.3 GHz hasta 20 GHz.

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} y es el valor que tiene un nivel de -10 dB, mientras que el aislamiento se observa en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , en este caso esta frecuencia viene marcada por el corte con -20 dB, menos en los diseños en los que hay una banda en 2.5 GHz.

En este caso el aislamiento es de -15 dB, pero solo entre los dos extremos que forman la banda. Para el resto de frecuencias superiores el valor de aislamiento sigue siendo de -20dB.

3.1 Diseño de una Antena UWB de 1 Elemento

Este diseño es el primero que se va realizar y a partir del cual se pasará a los diseños de dos y cuatros elementos, que serán copias de este.

Se establecen como objetivo que la frecuencia mínima de trabajo este como mínimo 3.33 GHz.

Con un radio más grande del elemento radiante esta frecuencia mínima se reduce, pero no se puede aumentar el radio demasiado a coste de bajar la frecuencia ya que nos quedaría una antena de grandes dimensiones que no sería compacta. Se ha fijado un radio de 10mm.

Otra estrategia para disminuir la frecuencia mínima de trabajo sería tener un taper de mayor longitud, pero si aumentamos mucho esta longitud estaríamos en la misma situación que la descrita anteriormente, nos quedaría una antena que no sería compacta. [12]

La línea de alimentación no es recta, sino que es más estrecha a medida que nos acercamos al elemento radiante, entrando un poco hacia el centro del mismo. A su vez el plano de masa se queda por debajo a una distancia (gap) del elemento radiante. Así se consigue máxima eficacia en la transmisión de la señal del conector hasta el elemento radiante.

Por tanto, se ha buscado unas dimensiones que nos permitan cumplir con todos los objetivos a la vez a pesar de dejar la frecuencia de trabajo mínima en 3.5 GHz obteniendo de esta forma la siguiente antena:

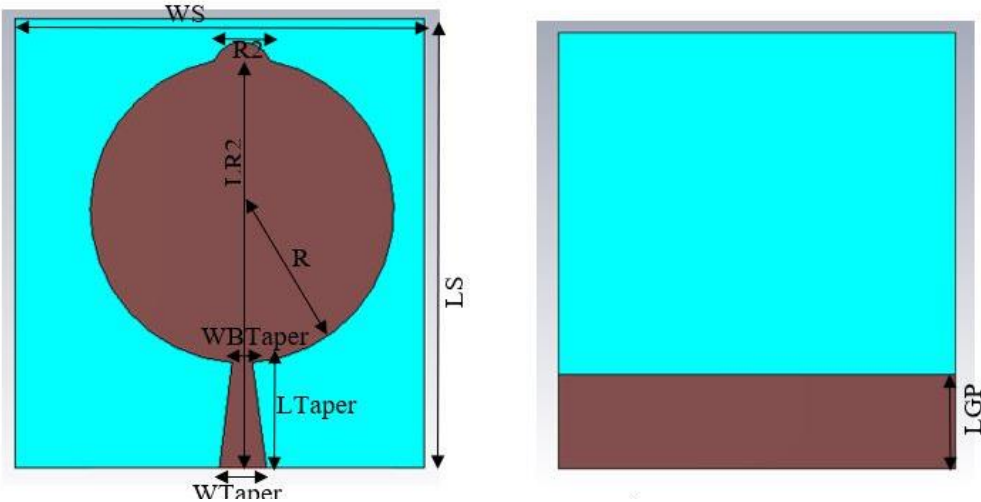


Figura 3.1 Antena UWB 1 Elemento

Parámetros	mm
WTaper	3.1
LTaper	7.5
WBTaper	0.6
R	10
R2	2
LS	29.5
WS	32
LR2	26
LGP	7.4

Tabla 2 Parámetros Antena UWB 1 Elemento

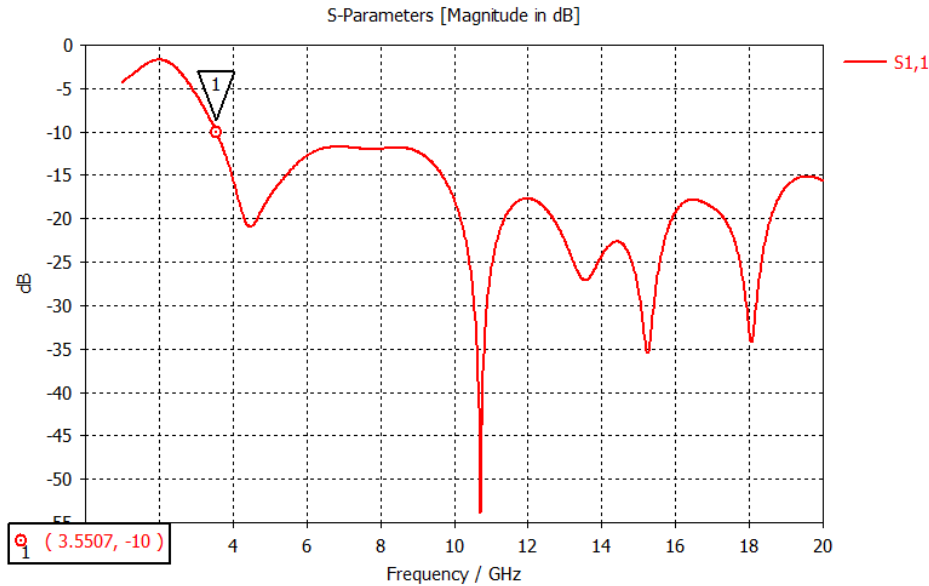


Figura 3.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento

Observamos en la gráfica de los parámetros S_{11} que la frecuencia de trabajo mínima es de 3.55 GHz y se mantiene por debajo de -10 dB para el resto de frecuencias mayores al valor anterior. Por lo tanto, la antena está adaptada a partir de 3.55 GHz

En este caso se observa como la frecuencia mínima de trabajo es de 3.4771, ligeramente inferior a la obtenida con la simulación hasta 20 GHz que es de 3.55 GHz.

A partir de la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo del valor de -10 dB.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

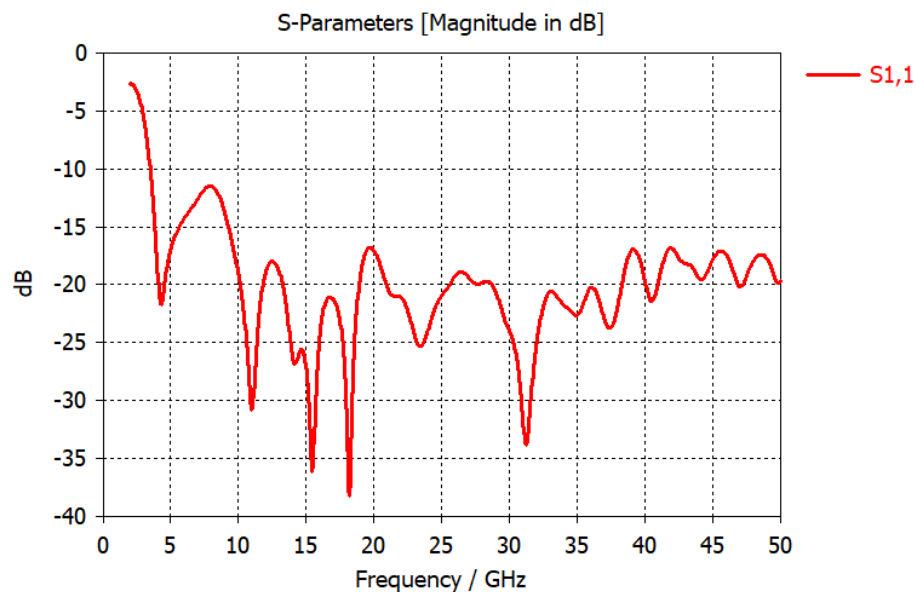


Figura 3.3 Parámetros S_{11} 50 GHz Antena UWB 1 Elemento

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , aunque para este diseño al tratarse de una antena de un elemento solo tendremos parámetros S_{11} .

En este caso se observa como a partir de la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo de -10 dB.

3.2 Diseño de una Antena MIMO UWB de 2 Elementos

En el diseño de la antena de dos elementos, duplicamos el elemento unitario anterior, pero modificando el radio del elemento radiante pasando de 10mm a 9mm. Además, se ha realizado el estudio de dos variantes o diseños.

3.2.1 Diseño 1

En este primer diseño era necesario incluir barreras verticales para mejorar el acoplamiento entre los dos elementos.

Como no bastaban con unas barreras metálicas en la cara superior, se incorporaron más barreras, pero en la cara inferior, estando estas barreras unidas al plano de masa.

Para mejorar más aun el aislamiento se movieron los elementos radiantes a ambos lados del sustrato para separarlo lo máximo posible de la barrera central y así obtener un nivel de acoplamiento en el parámetro S21 por debajo de -15 dB.

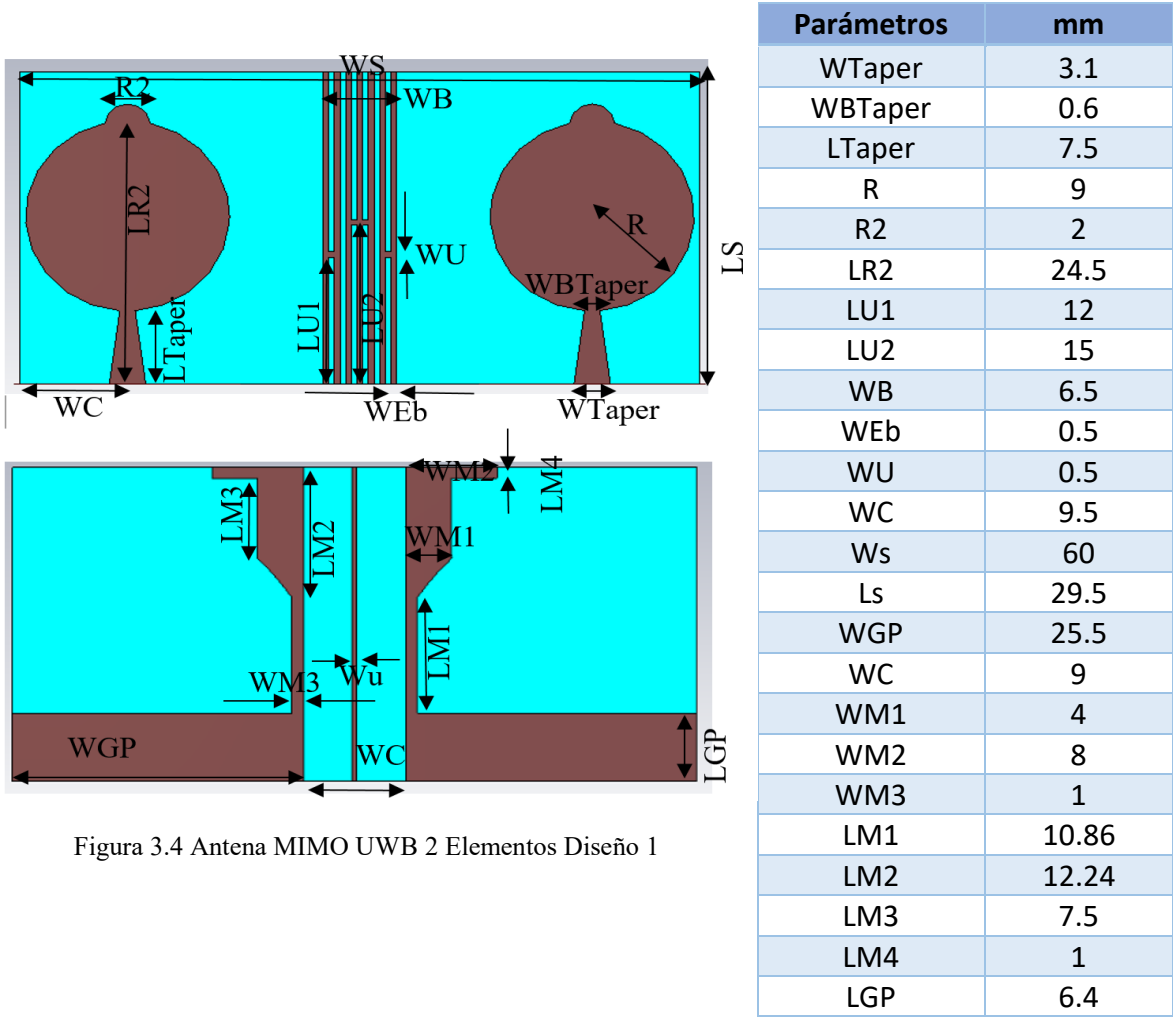


Figura 3.4 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

Tabla 3 Parámetros Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

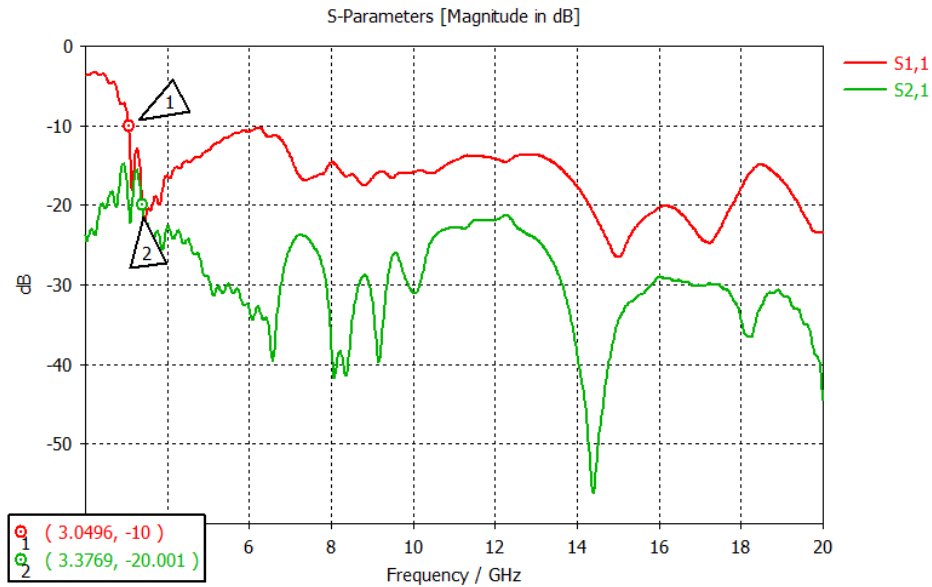


Figura 3.5 Parámetros S_{11} y S_{12} Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

Solo se muestran los parámetros S_{11} y S_{21} , ya que, debido a la simetría de la antena, los parámetros S_{22} y S_{12} serían iguales a los parámetros S_{11} y S_{21} respectivamente.

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño es de 3.046 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica se acerca peligrosamente a -10 dB en torno a 6.5 GHz, aunque no llega a tener ese valor.

El acoplamiento que se ve en los parámetros S_{21} está en 3,3769 GHz manteniéndose por debajo de -20 dB en las frecuencias superiores hasta 20 GHz.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

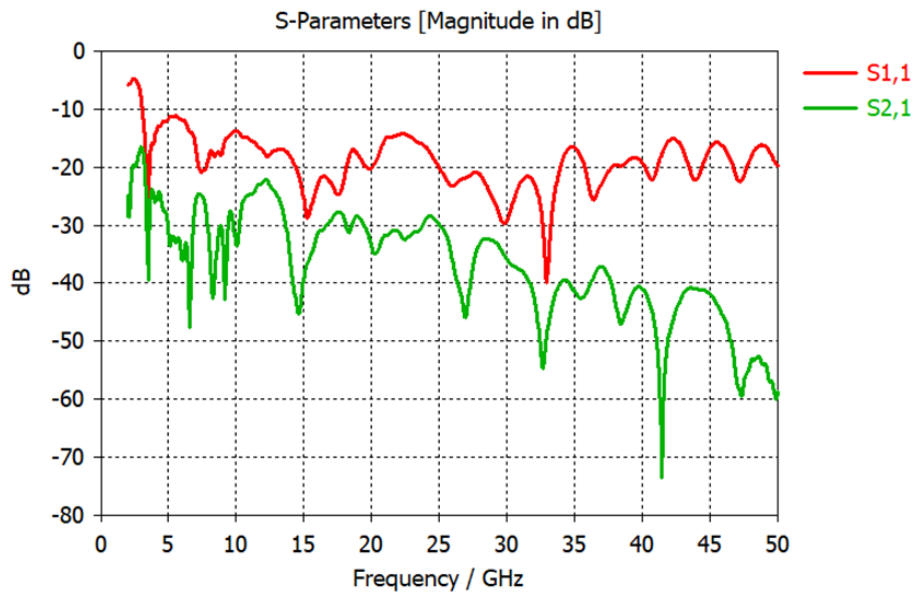


Figura 3.6 Parámetros S_{11} y S_{21} 50 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , aunque para este diseño al tratarse de una antena de dos elementos solo tendremos parámetros S_{11} y S_{21} .

En este caso se observa como a partir de la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo del valor de -10dB.

El acoplamiento que se ve con los parámetros S_{21} está es inferior a -20 dB en toda la banda de trabajo.

3.2.2 Diseño 2

En este segundo diseño se añaden dos prolongaciones al elemento radiante. La estrategia que se ha seguido ha sido la de aumentar la superficie del elemento radiante. Además, así también se reduce el acoplamiento entre los dos elementos radiantes.

El resto de parámetros como las barreras en ambas caras se mantienen exactamente iguales que en el diseño anterior, por ese motivo no se incluyen medidas en la cara inferior del diseño 2.

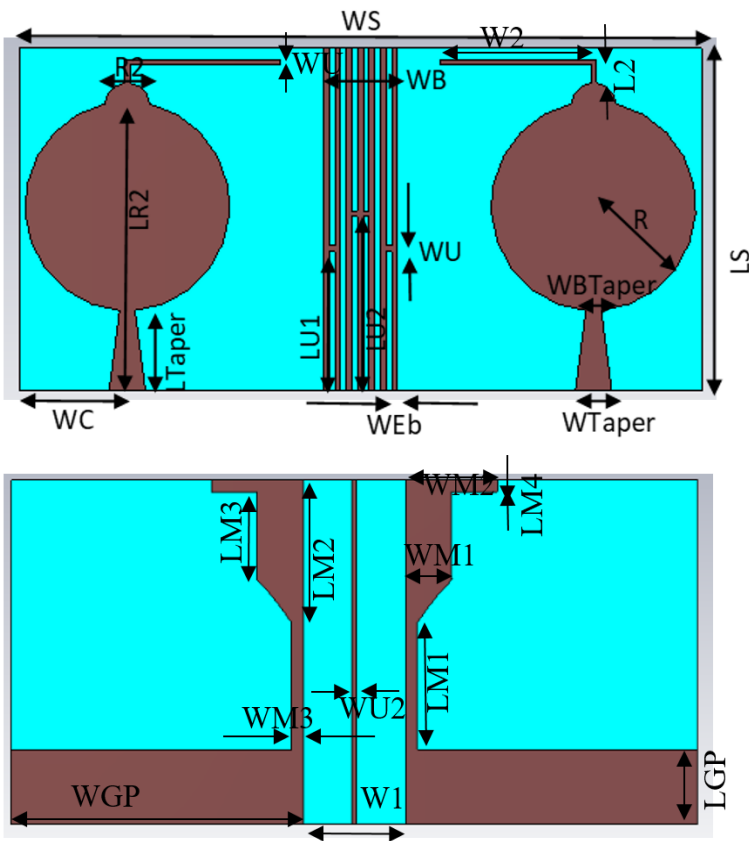


Figura 3.7 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

Parámetros	mm
WTaper	3.1
WBTaper	0.6
LTaper	7.5
R	9
R2	2
LR2	24.5
LU1	12
LU2	15
L2	2
W2	13.75
WB	6.5
WEb	0.5
WU	0.5
WU3	0.4
WC	9.5
WS	60
LS	29.5
WGP	25.5
W1	9
WM1	4
WM2	8
WM3	1
LM1	10.86
LM2	12.24
LM3	7.5
LM4	1
LGP	6.4

Tabla 4 Parámetros Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

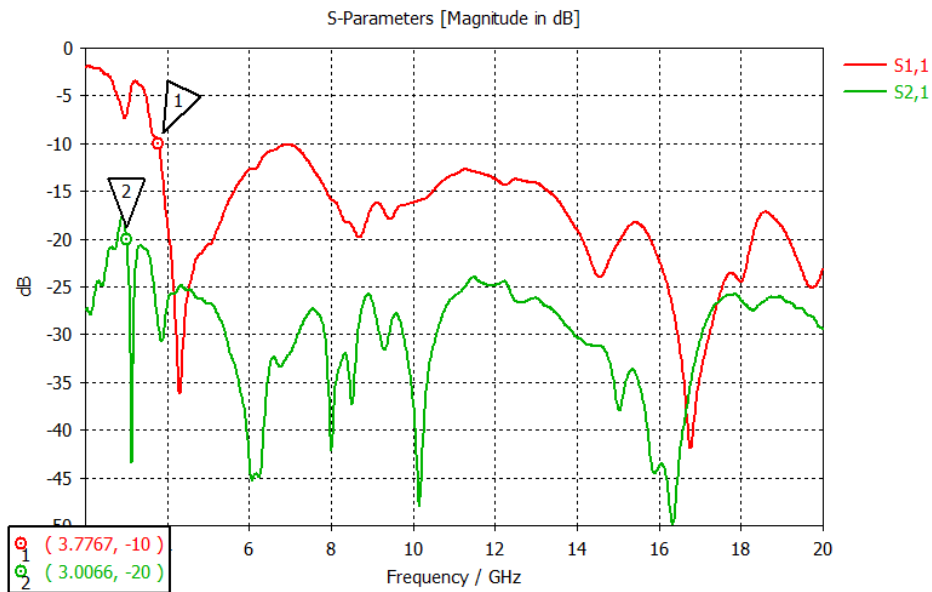


Figura 3.8 Parámetros S_{11} y S_{12} Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

Al igual que en el diseño anterior solo se muestran los parámetros S_{11} y S_{21} , ya que, debido a la simetría de la antenna, los parámetros S_{22} y S_{12} serían iguales a los parámetros S_{11} y S_{21} respectivamente.

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño es de 3.77 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica se acerca peligrosamente a -10 dB en torno a 7 GHz, pero no llega a valer -10 dB.

Como en el diseño anterior, existe también esta zona en la que nos acercamos al valor del -10 dB, pero en este caso es a una frecuencia un poco más alta.

El acoplamiento que se ve en los parámetros S_{21} está en 3 GHz manteniéndose por debajo de -20 dB en las frecuencias superiores hasta 20 GHz.

Observando este diseño se ve que la frecuencia mínima de trabajo se ve aumentada con respecto a la frecuencia mínima de trabajo del diseño 1 pero el acoplamiento mejora también con respecto a la antenna del diseño anterior.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , aunque para este diseño al tratarse de una antenna de dos elementos solo tendremos parámetros S_{11} y S_{21} .

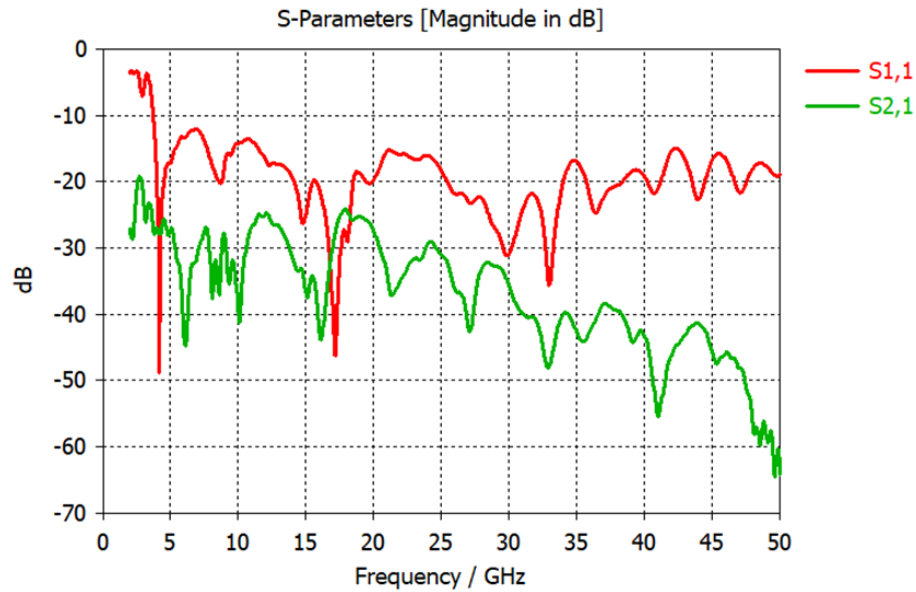


Figura 3.9 Parámetros S11 y S21 50 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

En este caso se observa como la frecuencia mínima se mantiene siempre por debajo del valor de -10dB.

El acoplamiento que se ve con los parámetros S_{21} se mantiene en todo momento por debajo de -20 dB.

3.3 Diseño de una Antena MIMO UWB de 4 Elementos

Para este diseño utilizamos los dos elementos radiantes anteriores, pero eliminando de ellos la circunferencia pequeña de la parte superior del elemento radiante.

Se realiza la simulación con las barreras anteriores y no se cumplen los criterios de aislamiento por lo que se pasa a diseñar nuevas barreras en forma de cruz. En la cara inferior se mantienen las mismas barreras añadiendo una nueva barrera central, pero en disposición horizontal.

Después de incluir todas estas barreras, los criterios de aislamiento no se cumplían, por lo que se añadieron dos nuevas barreras en la cara superior, una en forma de corona circular centrada en el origen con terminaciones en línea recta hacia los extremos y entre los elementos radiantes y la barrera anterior en forma de cruz.

De esta forma si se cumplen los criterios de aislamiento. Por tanto, el diseño de la antena de 4 elementos es el siguiente:

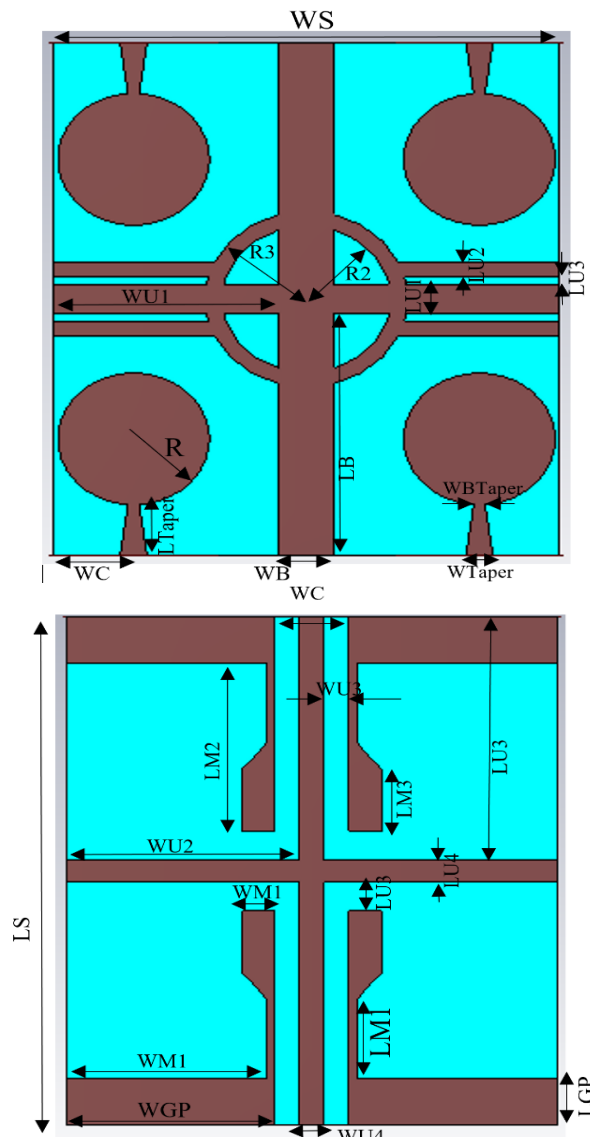


Figura 3.10 Antena MIMO UWB 4 Elementos

Parámetros	mm
WTaper	3.1
WBTaper	0.6
LTaper	7.5
R	9
R2	10
R3	12
WC	9.5
WB	6.5
LB	33
WU1	26.75
LU1	4
LU2	2
LU3	1
WS	60
LS	70
WC	9
WU4	3
WU3	3
WGP	25.5
WM1	24.5
LGP	6.4
LM1	10.86
LM2	23.1
LM3	8.5
WU2	28.5
LU2	33.5
LU4	3

Tabla 5 Parámetros Antena MIMO UWB 4 Elementos

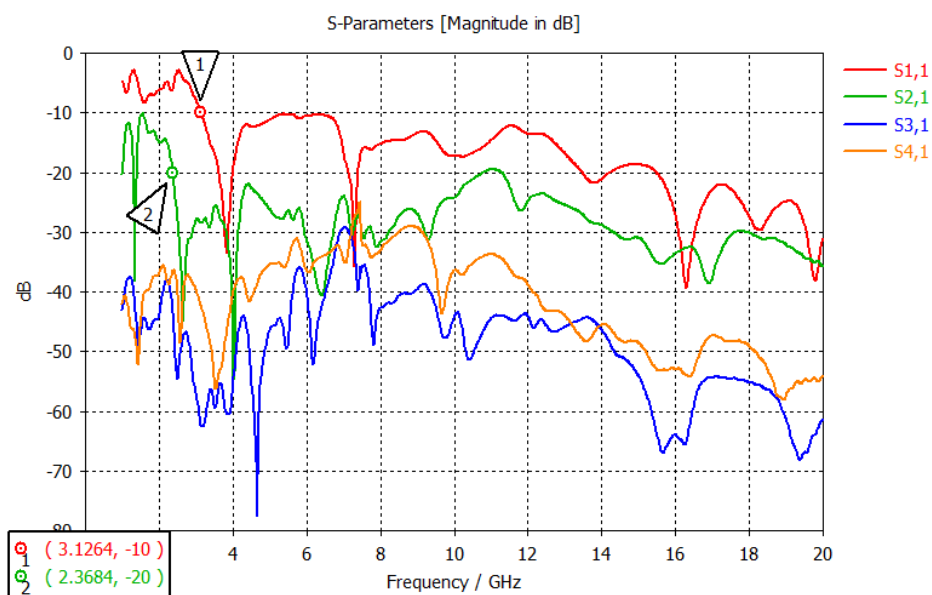


Figura 3.11 Parámetros S11, S21, S3 y S41 Antena MIMO UWB 4 Elementos

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño como se observa en los parámetros S_{11} es de 3.1264 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica se acerca peligrosamente a -10 dB en el intervalo de frecuencias de 5 GHz a 7 GHz, aunque no llega a valer -10 dB.

El acoplamiento que se observa en los parámetros S_{21} está en 2.36 GHz manteniéndose por debajo de -20 dB en las frecuencias superiores hasta 20 GHz excepto en 11 GHz que se supera este valor umbral. El resto de acoplamientos que se ven en los parámetros S_{31} y S_{41} también se mantienen siempre por debajo de -20 dB, estando estos siempre por debajo de -30dB excepto en un pico que ocurre en la frecuencia de 7 GHz.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

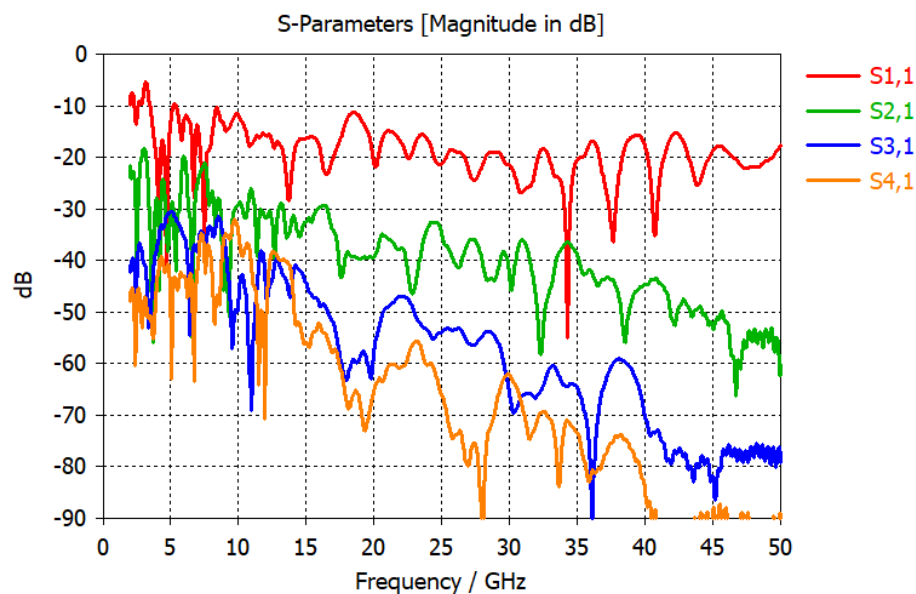


Figura 3.12 Parámetros S_{11} , S_{21} , S_{31} y S_{41} 50 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en este diseño, al tratarse de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} .

En este caso se ve como a partir de la frecuencia mínima, su valor en dB mantiene siempre por debajo del valor de -10dB, aunque para el valor aproximadamente de 6 GHz y 8 GHz se acerca mucho a -10 dB pero no llega a alcanzar dicho valor.

El acoplamiento que se observa con los parámetros S_{21} , S_{31} y S_{41} se mantiene en todo momento por debajo de -20 dB.

3.4 Diseño de una Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento

A partir de ahora, se pasa a diseñar nuevas antenas que incorporen una banda en la frecuencia de 2,4 GHz, que es la banda utilizada en WiFi.

Para ello, se seguirá la misma estrategia que en el caso anterior, realizando en primer lugar el diseño del elemento unitario y luego utilizando este diseño y duplicándolo se pasará a una antena de dos y cuatro elementos respectivamente.

Por tanto, para la creación de la banda se añade una prolongación metálica al elemento radiante de aproximadamente 30 mm, ya que con esta longitud es con la cual se obtiene una banda en 2,4 GHz. Para utilizar el menor espacio posible se diseña el elemento en forma de U invertida, ya que no se puede poner un elemento de esa longitud hacia arriba porque las dimensiones de la antena aumentarían considerablemente. El elemento no llega a estar encima del plano de masa.

El resto de dimensiones se mantienen iguales que en el diseño anterior del elemento unitario.

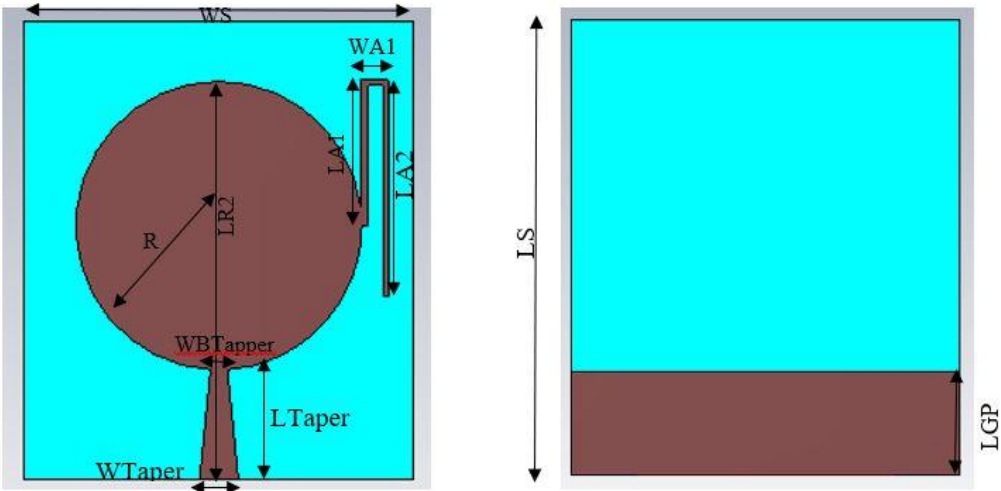


Figura 3.14 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

Parámetros	mm
WTaper	3
LTaper	9
WBTaper	1.2
R	11
LS	35
WS	35
LR2	30.4
LGP	7.9
LA1	11.11
WA1	2.1
LA2	16.5

Tabla 6 Parámetros Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

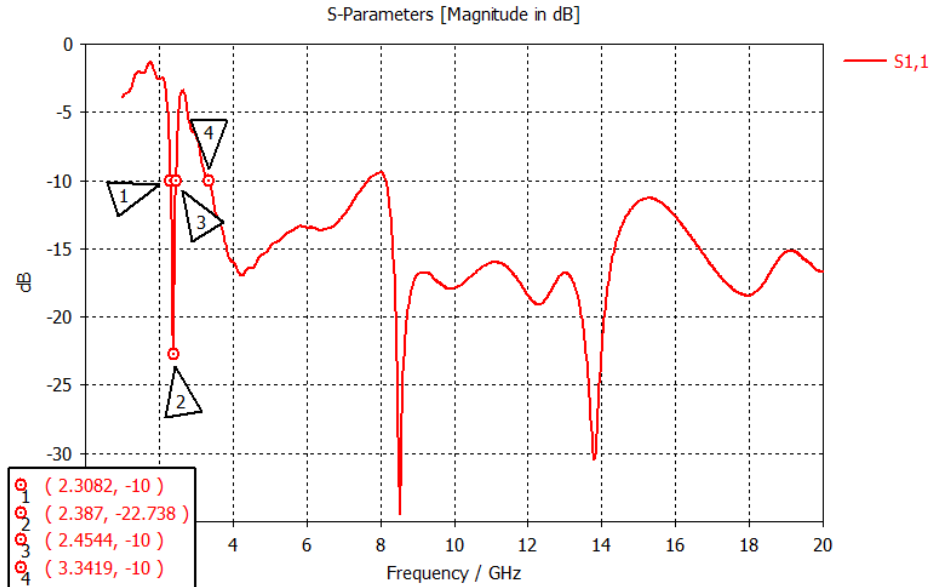


Figura 3.14 Parámetros S11 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño como se ve en los parámetros S_{11} es de 3.3419 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica sobrepasamos los -10 dB en el intervalo de frecuencias de 7.5 GHz a 8.2 GHz.

La banda que se obtiene está entre las frecuencias 2.30 GHz y 2.45 GHz teniendo por tanto un ancho de banda de 150 MHz. El punto central de la banda está situado en 2,387 GHz con un valor de -22.738 dB.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

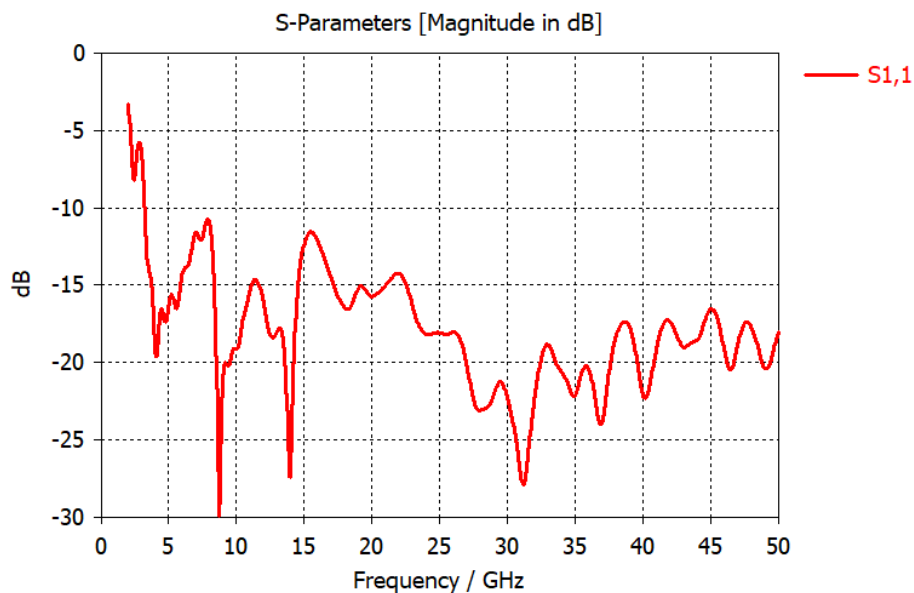


Figura 3.15 Parámetros S11 50 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , aunque para este diseño, al tratarse de una antena de un elemento solo tendremos parámetros S_{11} .

En este caso, como se puede observar, la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo del valor de -10dB. En esta simulación se ve como la banda de 2.4 GHz desaparece. Esto es debido al mallado de la simulación, ya que coincide que los puntos en los que calcula el valor coinciden que están por debajo -10 dB y no vemos la banda.

3.5 Diseño de una Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos

En el diseño de la antena de dos elementos, se duplica el elemento unitario anterior, pero modificando el radio del elemento radiante pasando de 11mm a 9 mm. Se añade al elemento radiante un rectángulo en la parte superior.

En primer lugar, se utilizan las barreras que teníamos en el diseño anterior de dos elementos, pero no se cumplen con los requisitos de aislamiento. Por lo tanto, se añade una barrera más de dos elementos en la cara superior y otra barrera más en el interior de la barrera anterior en la cara inferior.

De esta forma tampoco conseguimos cumplir con los criterios de aislamiento por lo que se crean dos nuevas barreras rectangulares encima de los elementos radiantes y casi en los extremos del sustrato.

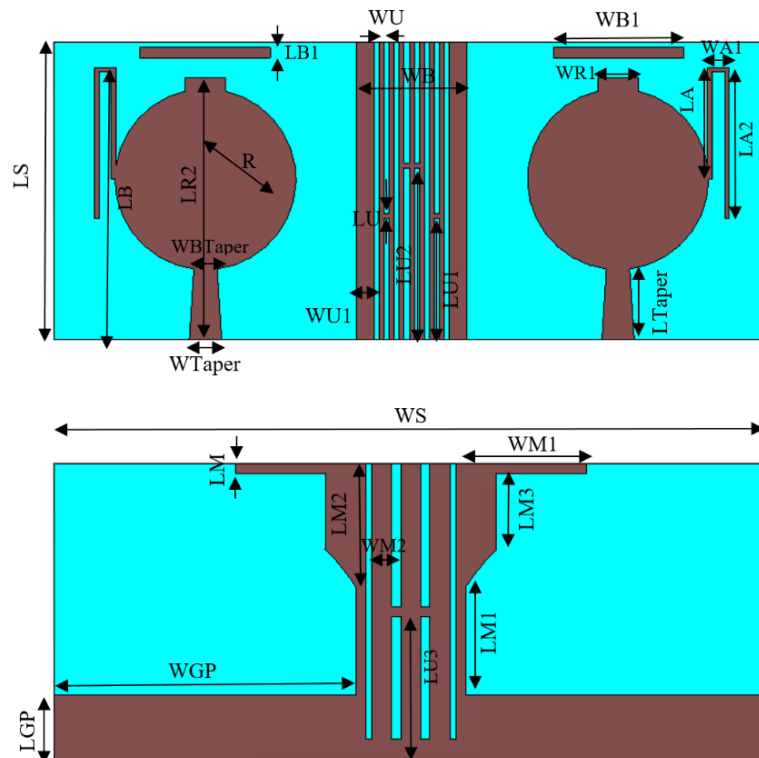


Figura 3.16 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

Parámetros	mm
WTaper	3.2
WBTaper	2.2
LTaper	7.5
R	9
WB1	13
LB	21.55
LB1	1
WR1	4
LA1	11.11
LA2	15
WS	71.2
LS	29.5
WA1	2.1
WU1	1.8
WU2	0.5
WGP	30.1
WB	11
WM1	13
WM2	2
LGP	6.4
LU	0.5
LU1	12
LU2	17
LU3	14.25
LM1	10.86
LM2	12.27
LM3	9.39
LM4	1

Tabla 7 Parámetros Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

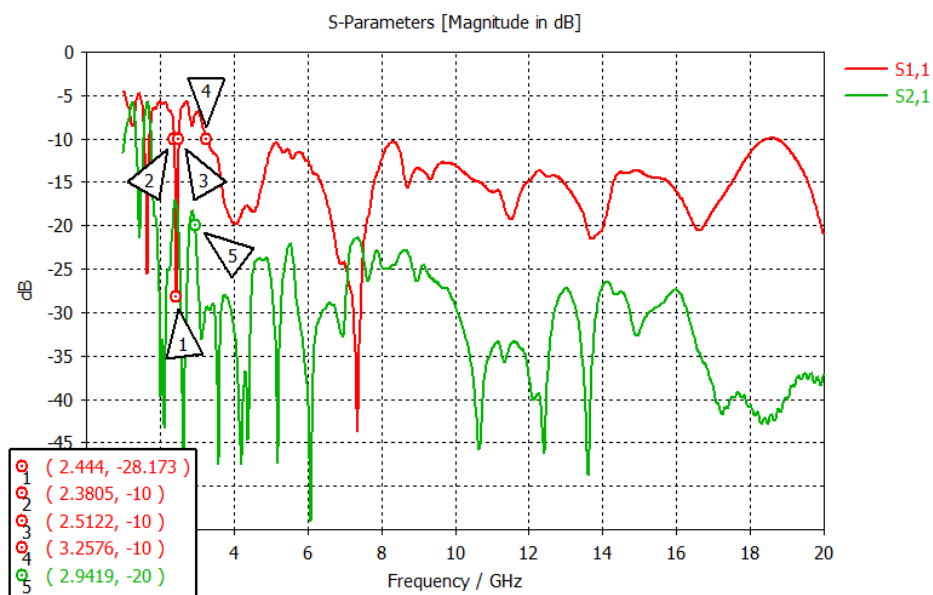


Figura 3.17 Parámetros S11 y S21 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

Solo se muestran los parámetros S_{11} y S_{21} , ya que, debido a la simetría de la antena, los parámetros S_{22} y S_{12} serían iguales a los parámetros S_{11} y S_{21} respectivamente.

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño es de 3.2576 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica se acerca peligrosamente a -10 dB en torno a 5 GHz y 8.5 GHz, pero no llega al valor de -10 dB.

La banda que se obtiene está entre las frecuencias 2.3805 GHz y 2.5122 GHz teniendo por tanto un ancho de banda de 131,7 MHz. El punto central de la banda está situado en 2,44 GHz con un valor de -28.173 dB. Esta banda con respecto a la del diseño anterior tiene un ancho de banda menor, pero está más centrada alrededor de 2,45 GHz.

El acoplamiento que se ve en los parámetros S_{21} está en 2.94 GHz manteniéndose por debajo de -20 dB en las frecuencias superiores hasta 20 GHz.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en el caso de los diseños de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} , aunque para este diseño, al tratarse de una antena de dos elementos solo tendremos parámetros S_{11} y S_{21} .

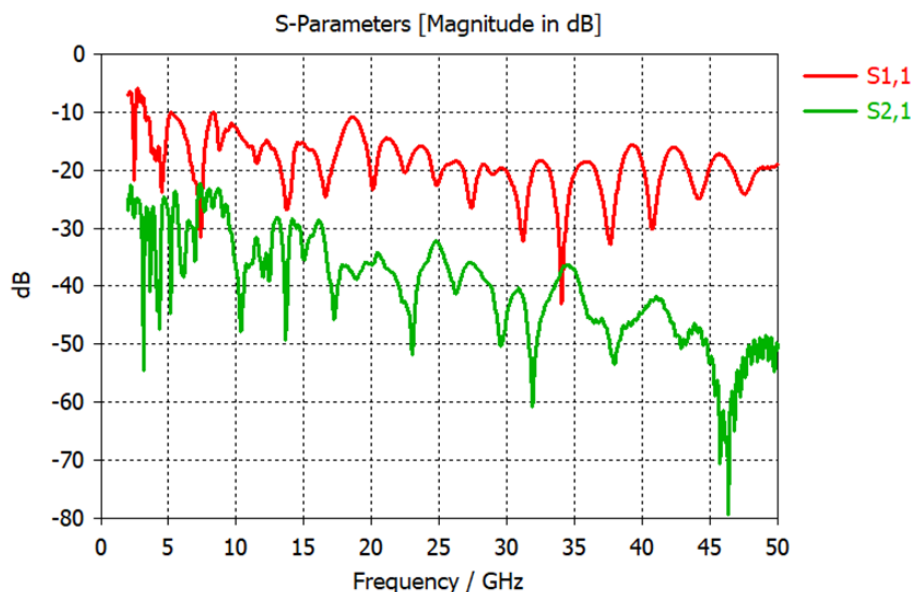


Figura 3.18 Parámetros S₁₁ y S₂₁ 50 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

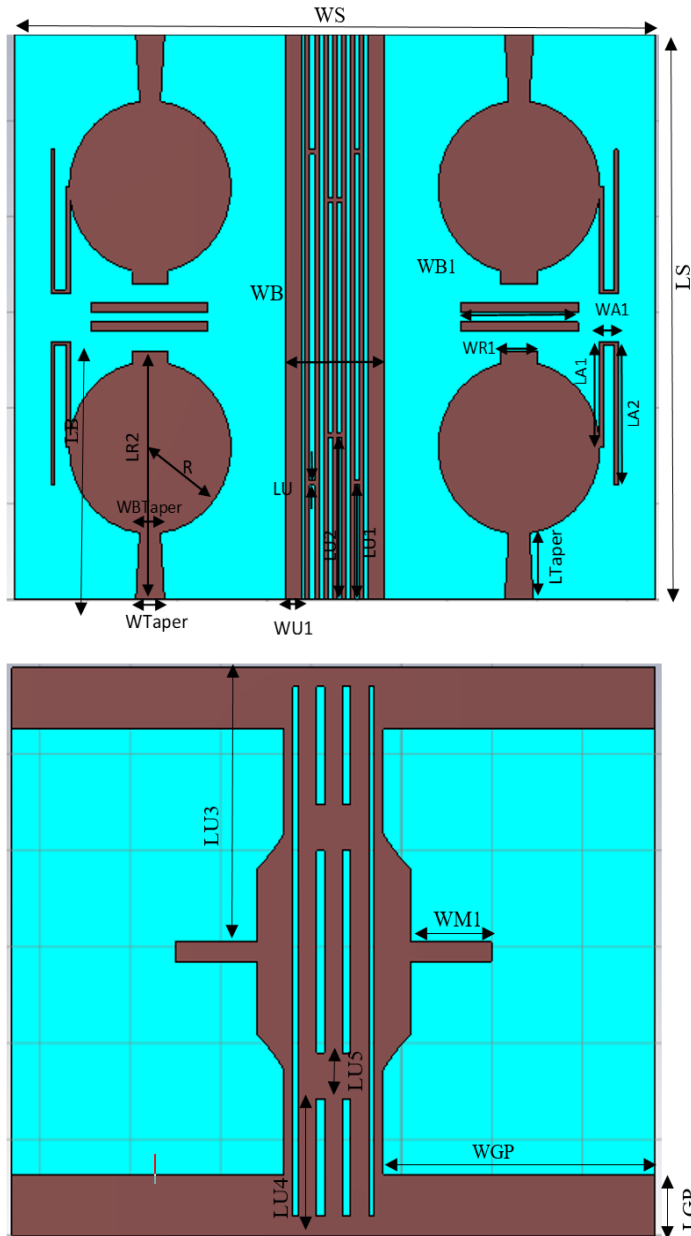
En este caso se puede ver como la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo del valor de -10dB.

En esta simulación la banda de trabajo si aparece.

El acoplamiento que se ve con los parámetros S_{21} es siempre inferior a -20 dB.

3.6 Diseño de una Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos

En el diseño de la antena de cuatro elementos, duplicamos el conjunto completo de la antena de dos elementos. Para cumplir con los criterios de aislamiento lo único que modificamos es el ancho WS del sustrato que pasa de 60 mm a 71.2 mm.



Parámetros	mm
WTaper	3.2
WB Taper	2.2
LTaper	7.5
R	9
WB1	13
LB	21.55
LB1	1
WB	11
LA1	11.11
LA2	15
LS	59
WS	71.2
WA1	2.1
WU1	1.8
WU2	0.5
WM1	9
WGP	30.1
LGP	6.4
LU	0.5
LU1	12
LU2	17
LU3	28.5
LU4	14.25
LU5	4.75

Tabla 8 Parámetros Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

Figura 3.19 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

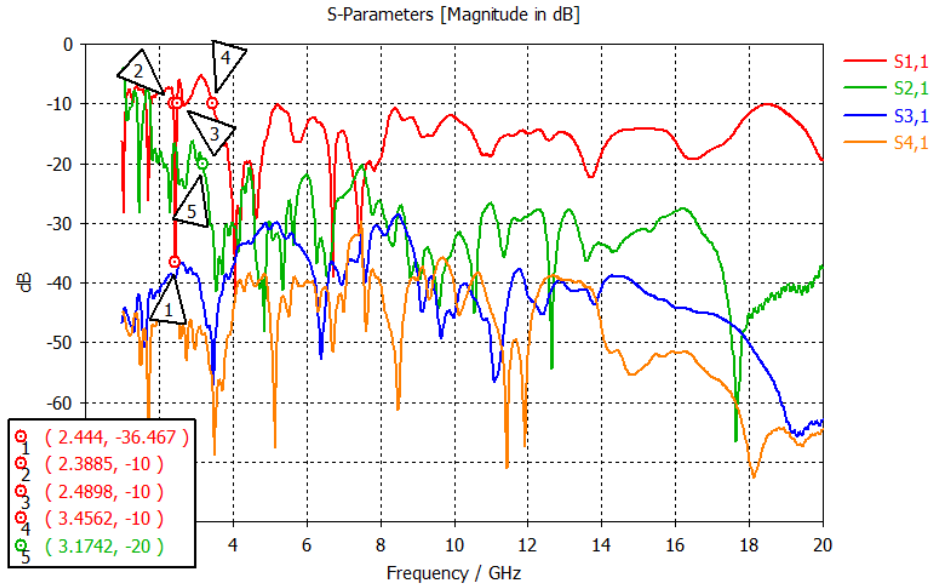


Figura 3.20 Parámetros S_{11} , S_{21} , S_{31} y S_{41} Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

La frecuencia de trabajo mínima en este diseño es de 3.4562 GHz, manteniéndose por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque como se observa en la gráfica se acerca peligrosamente a -10 dB en torno a 5 GHz y 19 GHz, pero no llega a valer -10 dB.

La banda que se obtiene está entre las frecuencias 2.3885 GHz y 2.4898 GHz teniendo por tanto un ancho de banda de 101,3 MHz.

El punto central de la banda está situado en 2,444 GHz con un valor de -36.1467 dB.

Esta banda al igual que nos pasaba con el diseño de dos elementos tiene un ancho de banda menor pero un punto más bajo de adaptación, aunque el punto central se encuentra exactamente a la misma frecuencia que en el diseño anterior de dos elementos.

El acoplamiento que se observa en los parámetros S_{21} está en 2.94 GHz se mantiene por debajo de -20 dB en las frecuencias superiores hasta 20 GHz, aunque se aproxima en torno a 7 GHz.

El resto de acoplamientos que se ven en los parámetros S_{31} y S_{41} también se mantienen siempre por debajo de -20 dB, estando estos siempre por debajo de -30 dB excepto en un pico que ocurre en la frecuencia de 8.2 GHz.

Se han realizado simulaciones hasta 50 GHz mostrándose el resultado de dicha simulación.

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} mientras que los acoplamientos se observan en los parámetros S_{21} y en este diseño, al tratarse de 4 elementos también en los parámetros S_{31} y S_{41} .

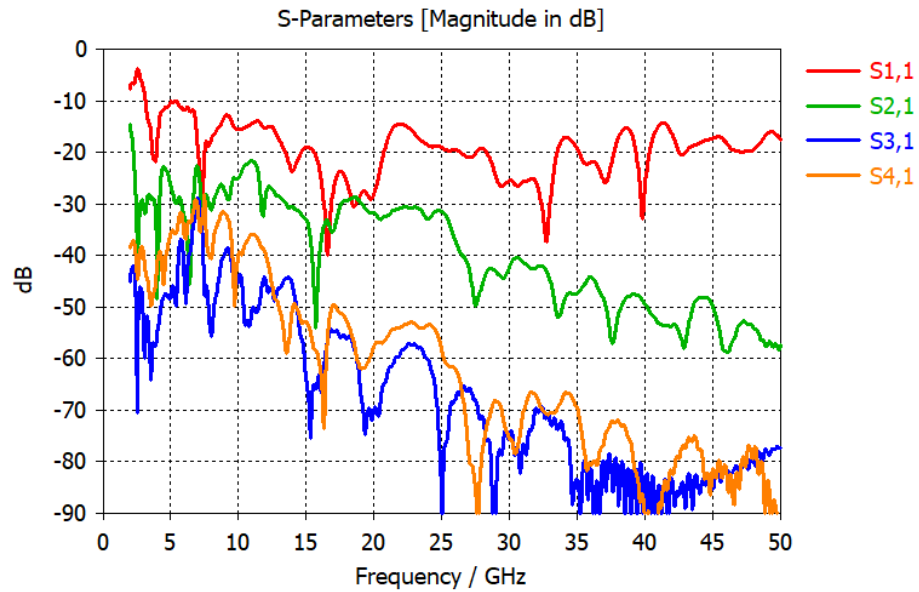


Figura 3.21 Parámetros S_{11} , S_{21} , S_{31} y S_{41} 50 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

En este caso, se observa como la frecuencia mínima de trabajo se mantiene siempre por debajo del valor de -10dB.

En esta simulación la banda de trabajo si aparece.

El acoplamiento que se observa con los parámetros S_{21} se mantiene en todo momento por debajo de -20 dB, aunque se aproxima a este valor alrededor de 6 GHz. El resto de acoplamientos que se ven en los parámetros S_{31} y S_{41} también se mantienen siempre por debajo de -20 dB, estando estos siempre por debajo de -30 dB

4 Resultados Prácticos

Aquí se muestran los resultados obtenidos en Matlab después de realizar las medidas con el analizador de espectros.

En las gráficas se muestra una línea que marca para cada caso el límite del valor en dB que no se puede superar.

En el parámetro S_{11} este valor límite es de -10dB, mientras que en el caso del parámetro S_{21} este valor es de -20 dB. En las antenas de 4 elementos también se tiene junto a los parámetros S_{21} , los parámetros S_{31} y S_{41} .

En las antenas de 2 elementos se muestran también otras dos gráficas, que son la EEC y la Diversity Gain.

Diversity Gain o ganancia de diversidad es el incremento en la relación señal interferencia. En una antena perfecta este parámetro tendría un valor de 10 dB.

ECC o Coeficiente de correlación de envolvente es un parámetro de calidad de las antenas que tiene en cuenta diversos factores como la polarización o la fase de una antena. En una antena perfecta este parámetro tendría un valor de 0.

Se van a incluir unas fotos de las diferentes antenas construidas.

4.1 Antena UWB 1 Elemento

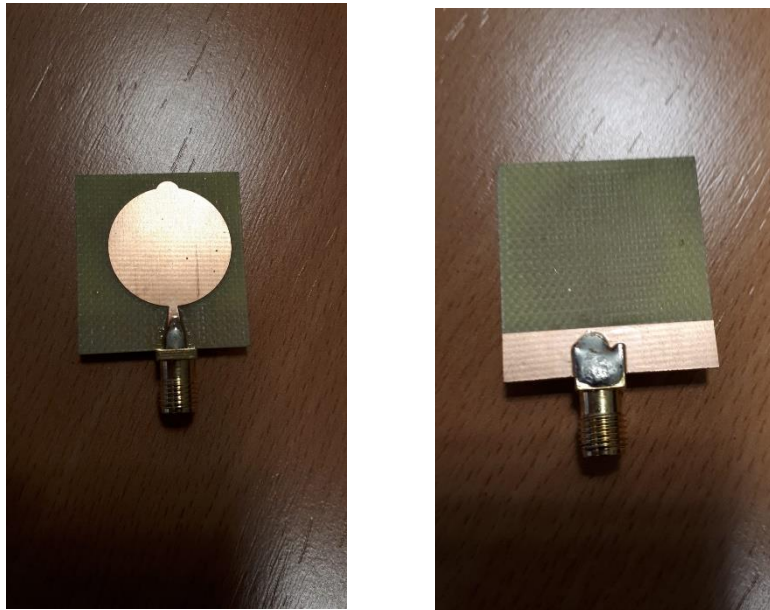


Figura 4.1 Antena UWB 1 Elemento

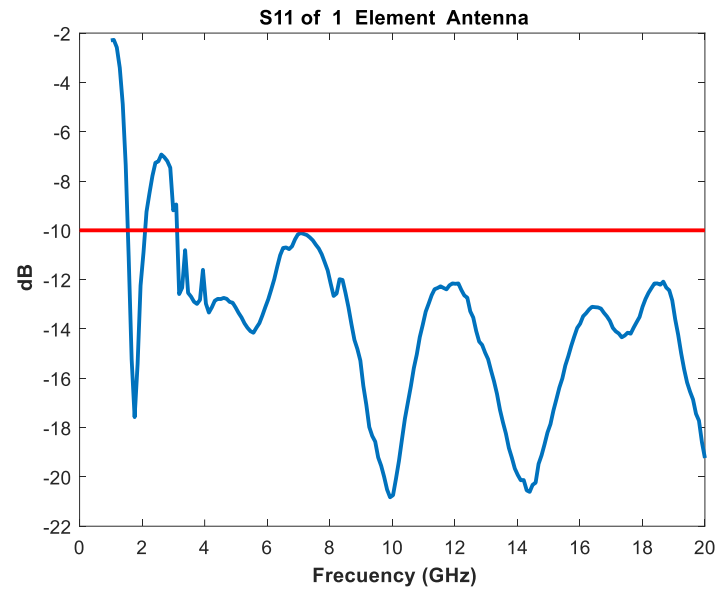


Figura 4.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3.15 GHz, mientras que en la simulación el valor obtenido era de 3.55 GHz.

4.2 Antena MIMO UWB 2 Elementos

4.2.1 Diseño 1

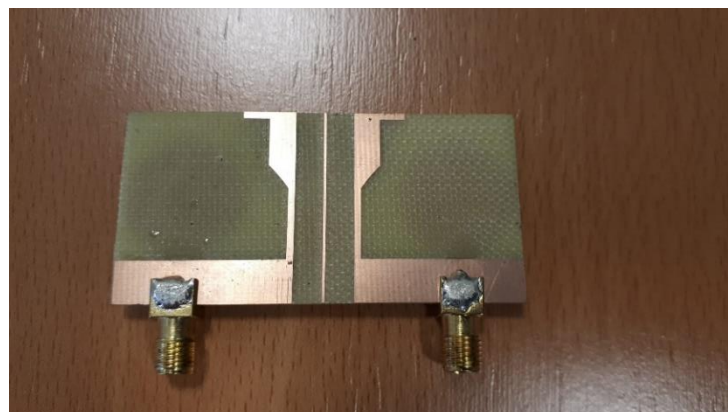
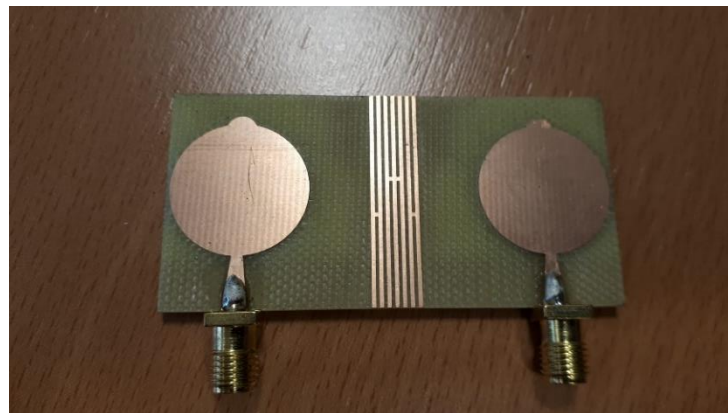


Figura 4.3 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

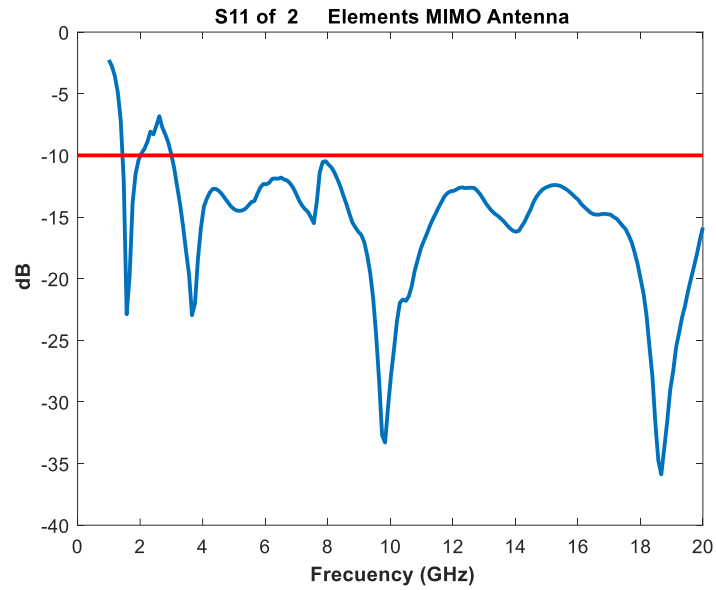


Figura 4.4 Parámetros S_{11} Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

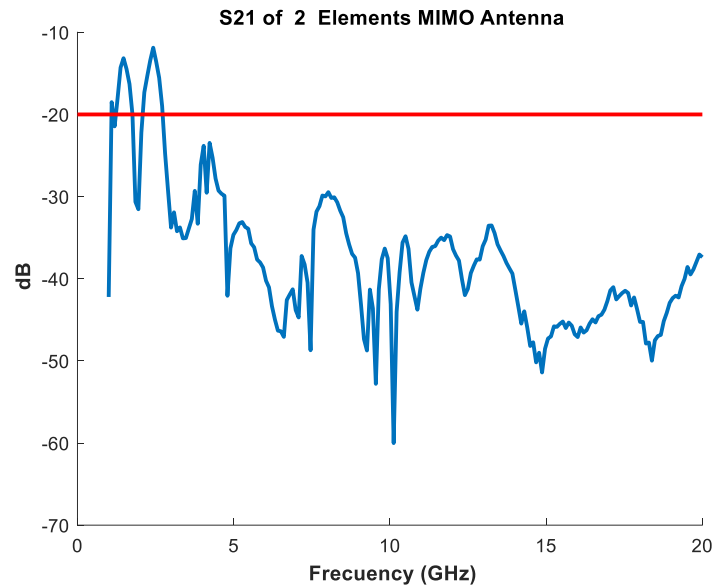


Figura 4.5 Parámetros S_{21} Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3 GHz, y en la simulación el valor obtenido era de 3.0496 GHz. La antena cumple con el requisito de S_{21} menor que -20 dB dentro de la banda UWB a partir de 2.75 GHz mientras que en la simulación el valor obtenido era de 3.3769 GHz.

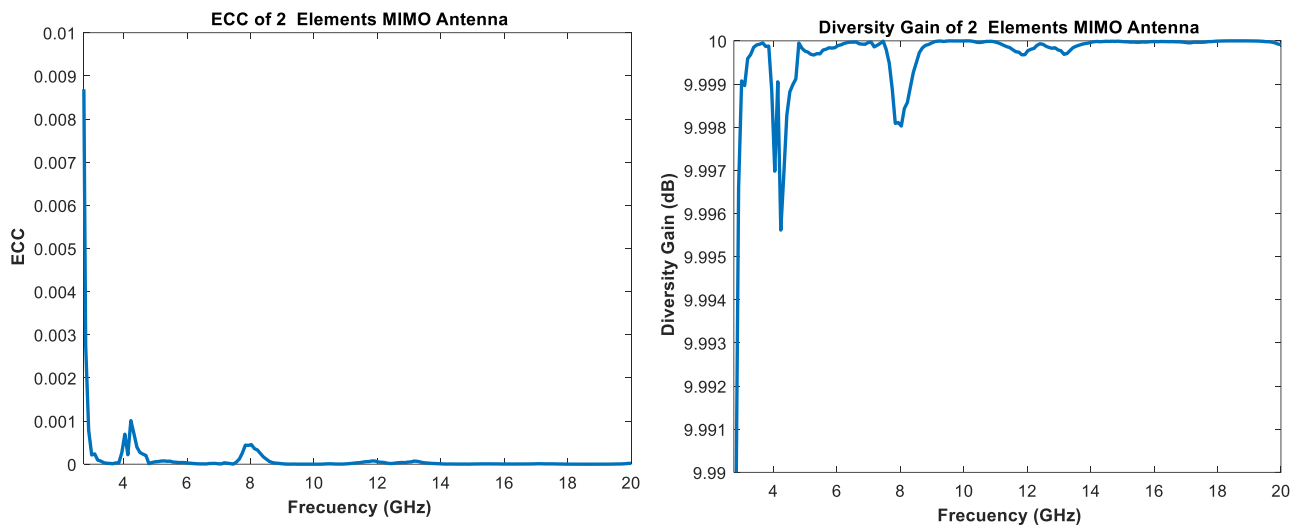


Figura 4.6 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

Se observa que los valores para la ECC en la banda de trabajo son casi 0 y pasa lo mismo en la Diversity Gain, pero con un valor de 10 dB.

4.2.2 Diseño 2

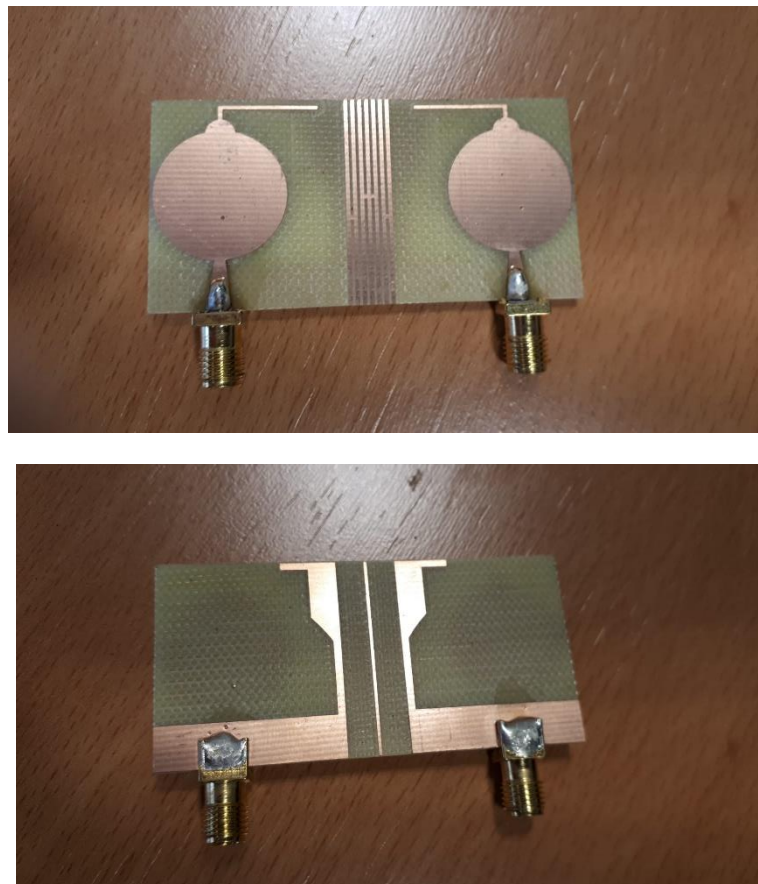


Figura 4.7 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

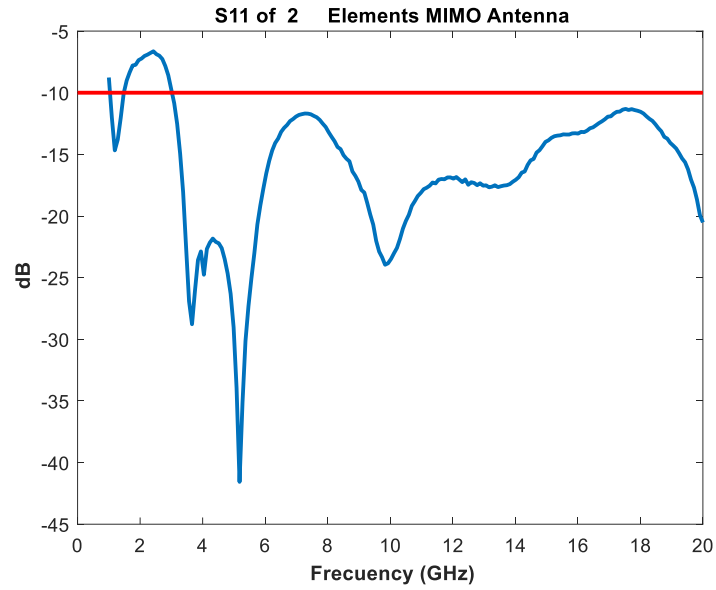


Figura 4.8 Parámetros S11 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

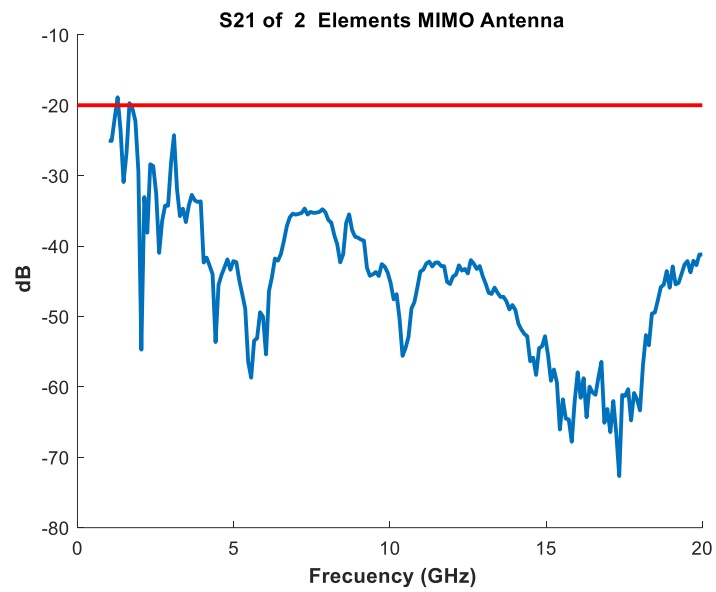


Figura 4.9 Parámetros S21 Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3 GHz, y la simulación el valor obtenido era de 3.7767 GHz.

La antena cumple con el requisito de S_{21} menor que -20 dB dentro de la banda UWB a partir de 1.75 GHz mientras que en la simulación el valor obtenido era de 3.0066 GHz.

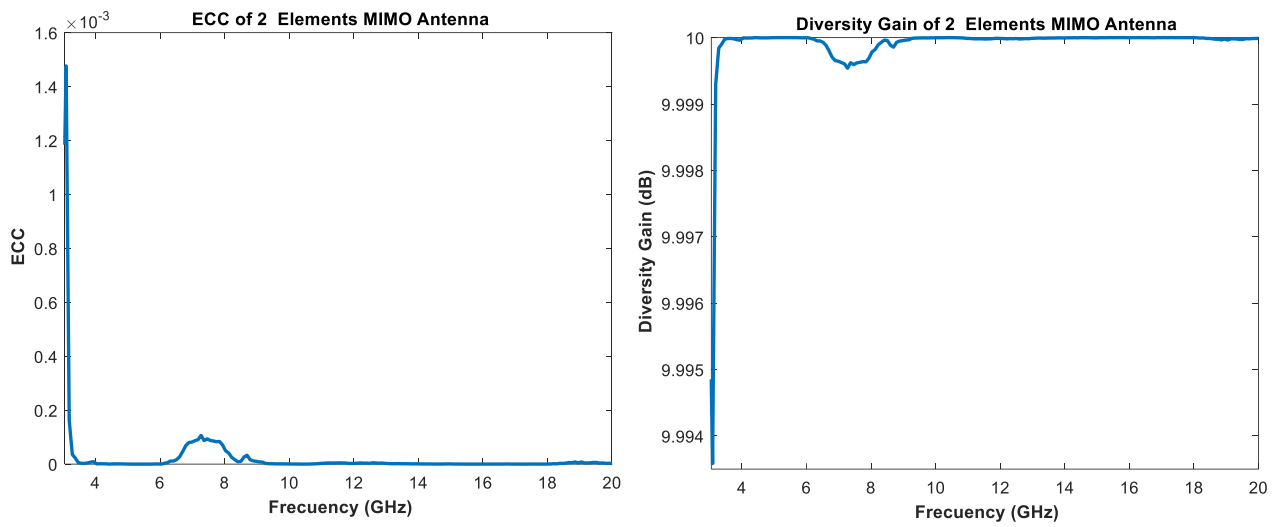


Figura 4.10 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

Se puede observar que los valores para la ECC en la banda de trabajo son casi 0 y pasa lo mismo en la Diversity Gain, pero con un valor de 10 dB.

4.3 Antena MIMO UWB 4 Elementos

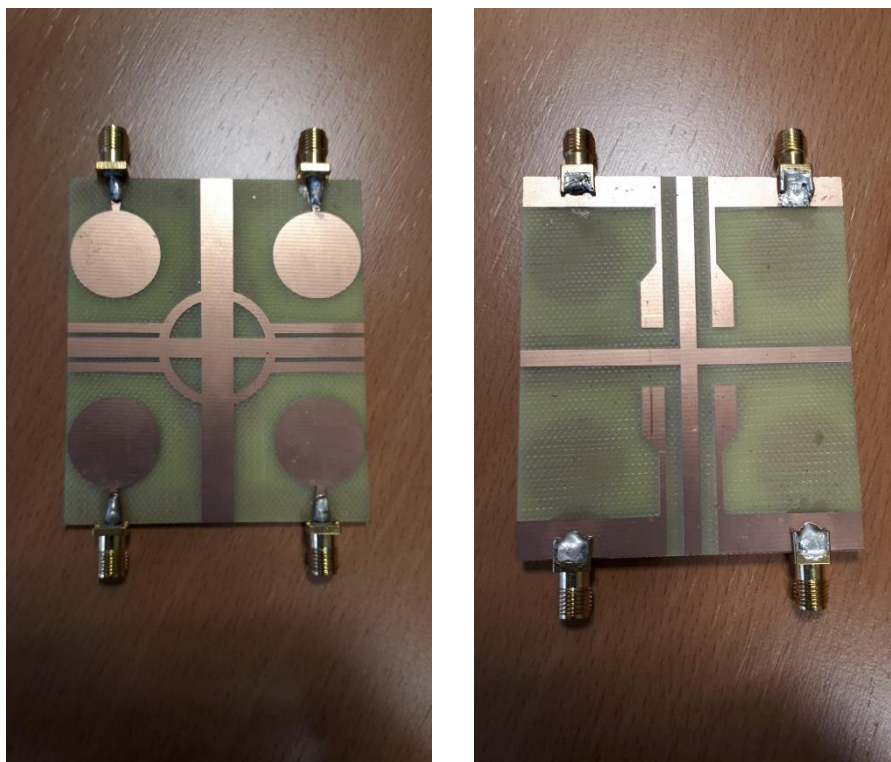


Figura 4.11 Antena MIMO UWB 4 Elementos

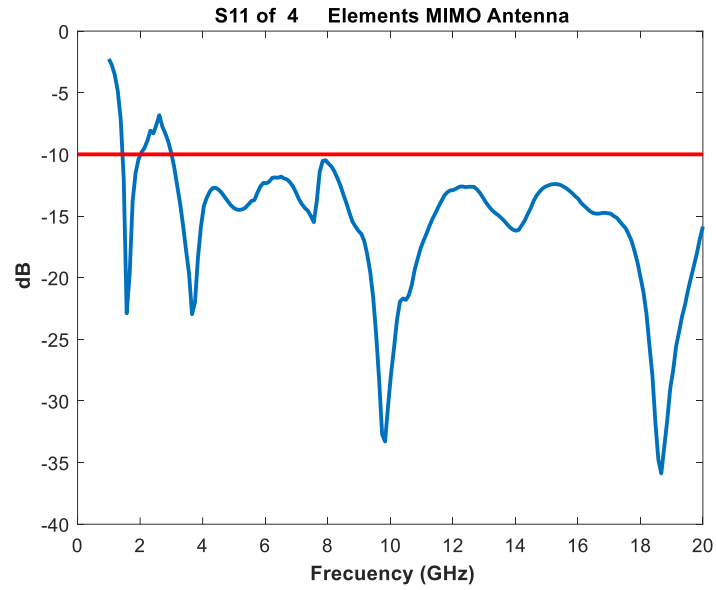


Figura 4.12 Parámetros S11 Antena MIMO UWB 4 Elementos

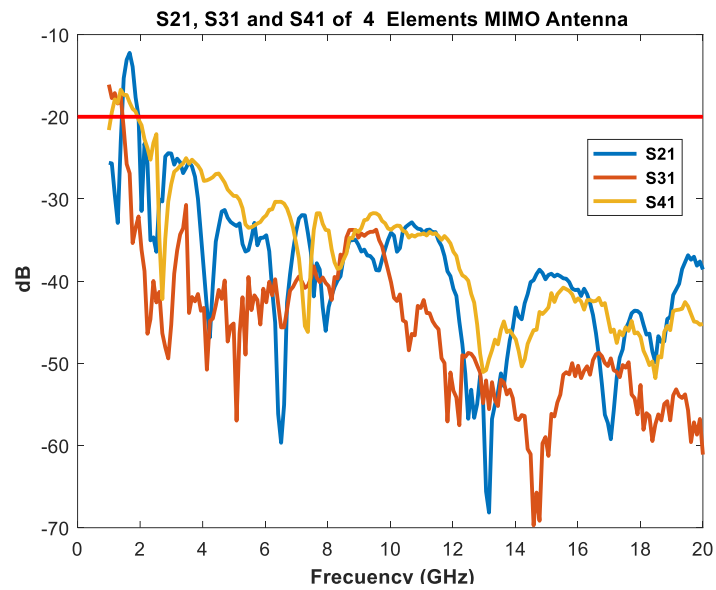


Figura 4.13 Parámetros S21, S31 y S41 Antena MIMO UWB 4 Elementos

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3 GHz, mientras que la simulación el valor obtenido era de 3.1264 GHz. La antena cumple con el requisito de S_{21} menor que -20 dB dentro de la banda UWB a partir de 1.95 GHz y en la simulación el valor obtenido era de 2.3684 GHz.

4.4 Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento

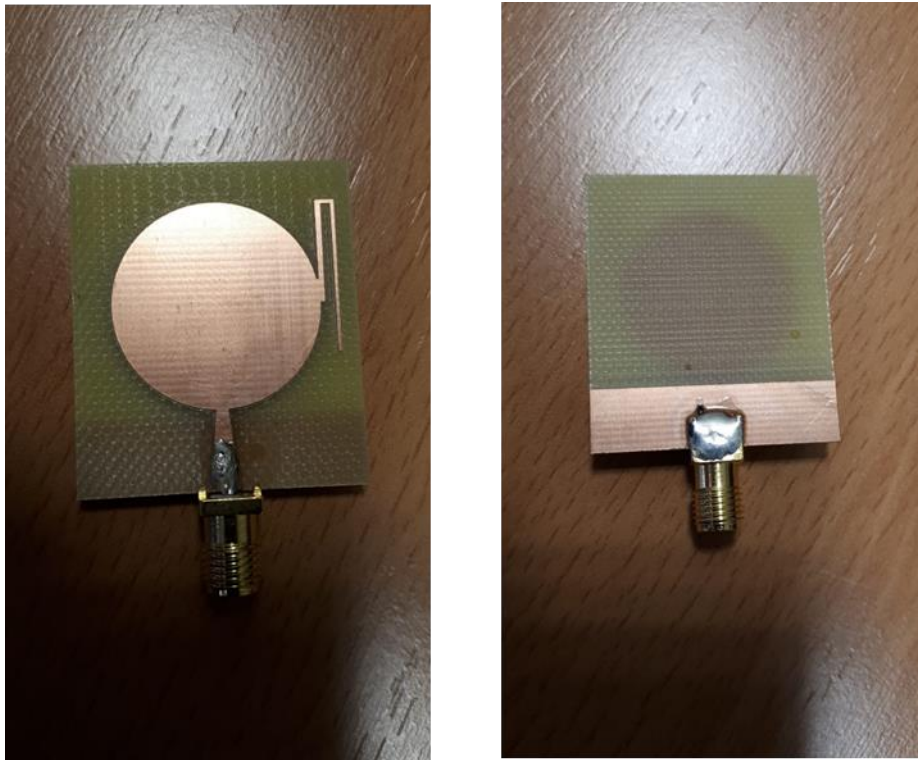


Figura 4.14 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

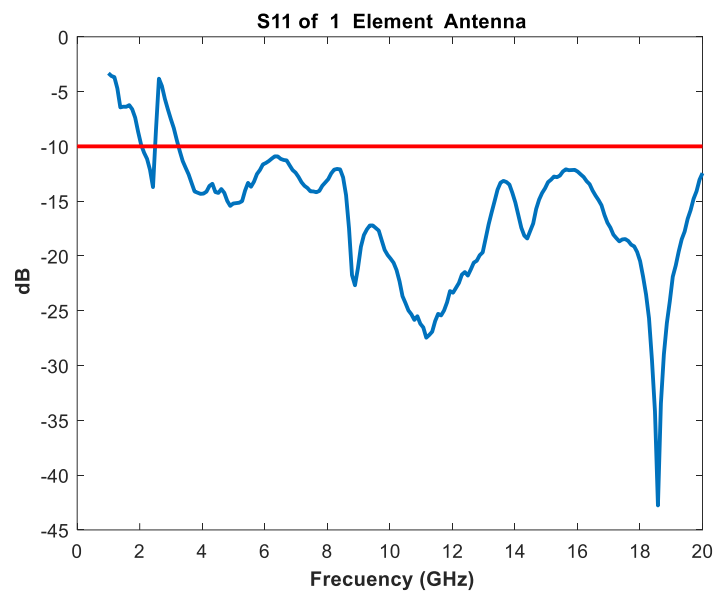


Figura 4.15 Parámetros S11 Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3.2GHz, mientras que en la simulación el valor obtenido era de 3.3419 GHz.

4.5 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos

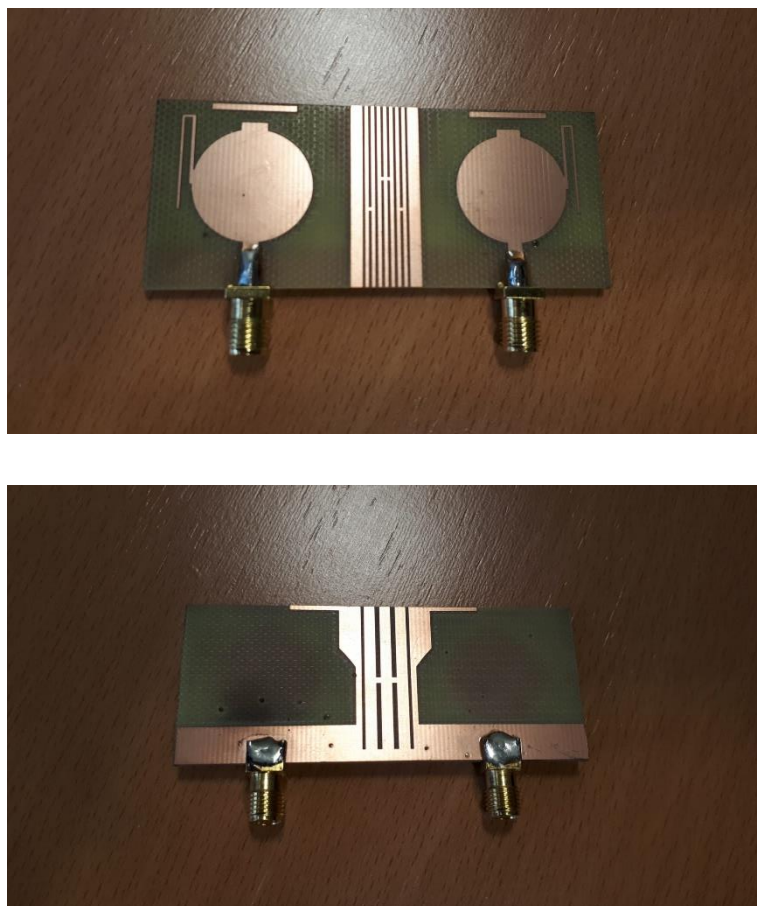


Figura 4.16 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

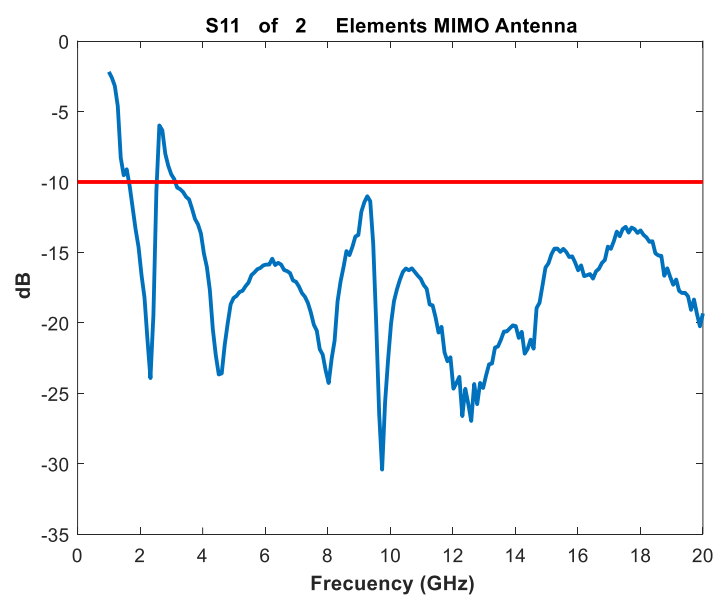


Figura 4.17 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

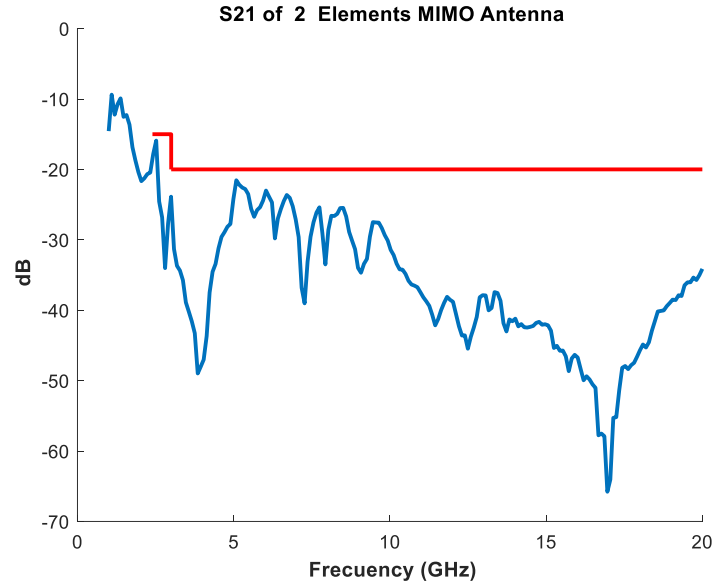


Figura 4.18 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

La antena cumple con el requisito de S_{11} menor que -10 dB dentro de la banda UWB a partir de 3.1 GHz, y en la simulación el valor obtenido era de 3.2576 GHz. El acoplamiento está por debajo de -15dB en la banda de trabajo y de -20dB en el resto de frecuencias, ya que no se ve el corte de la gráfica con la línea roja, mientras que la simulación el valor obtenido era de 2.9419 GHz.

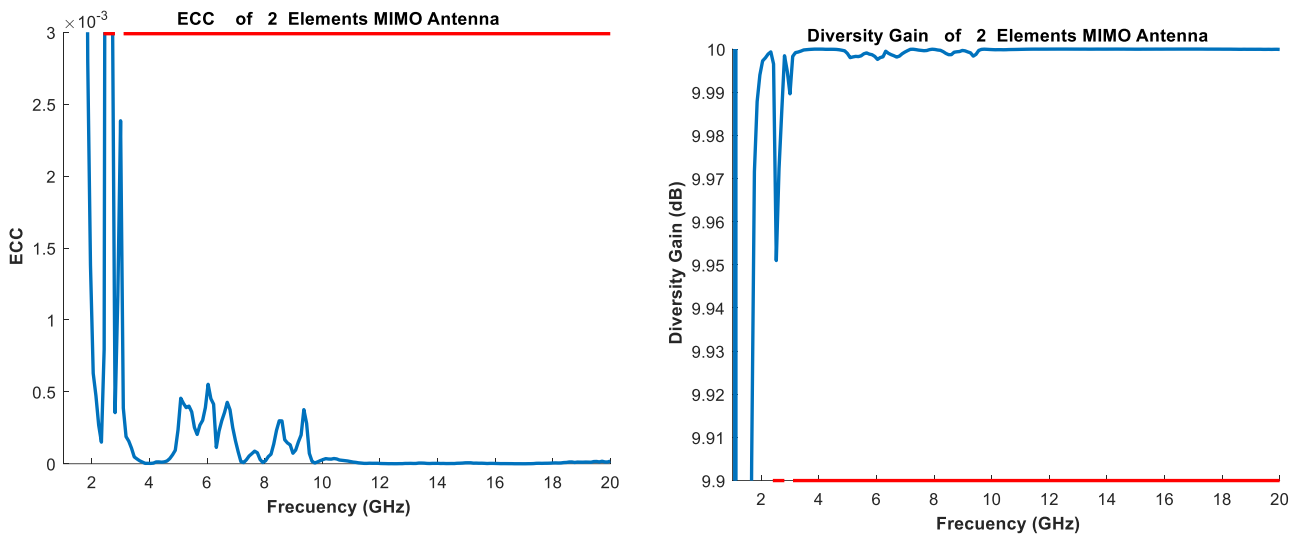


Figura 4.19 ECC y Diversity Gain Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

Se puede observar cómo los valores para la ECC en la banda de trabajo son casi 0 y pasa lo mismo en la Diversity Gain, pero con un valor de 10 dB.

4.6 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos

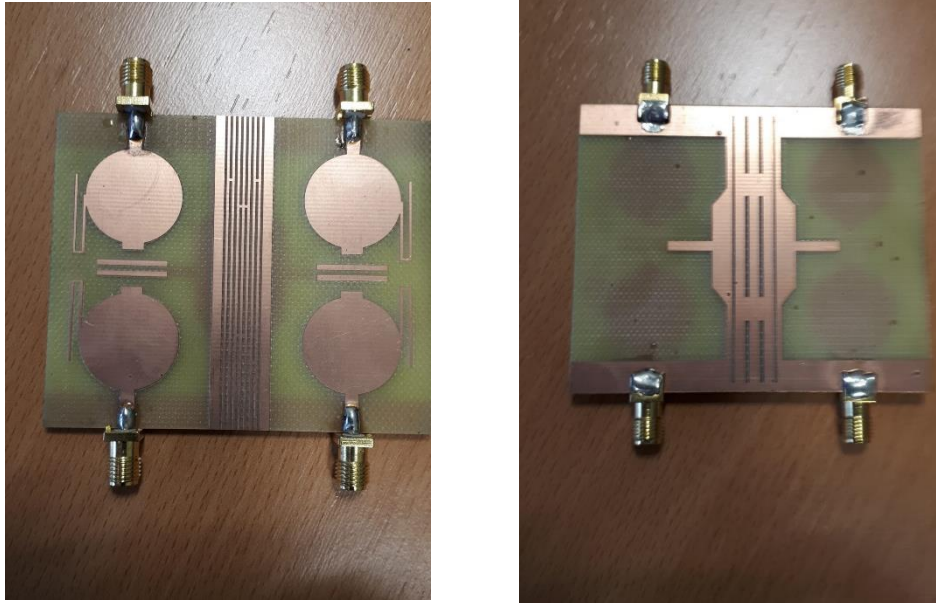


Figura 4.20 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

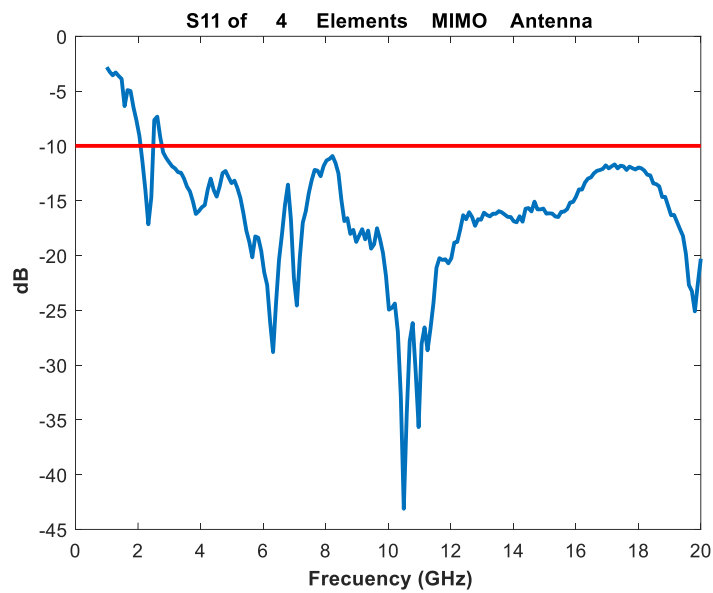


Figura 4.21 Parámetros S11 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

La antena cumple con el requisito de S_{11} a partir de 2.75 GHz, y en la simulación el valor obtenido era de 3.4562 GHz.

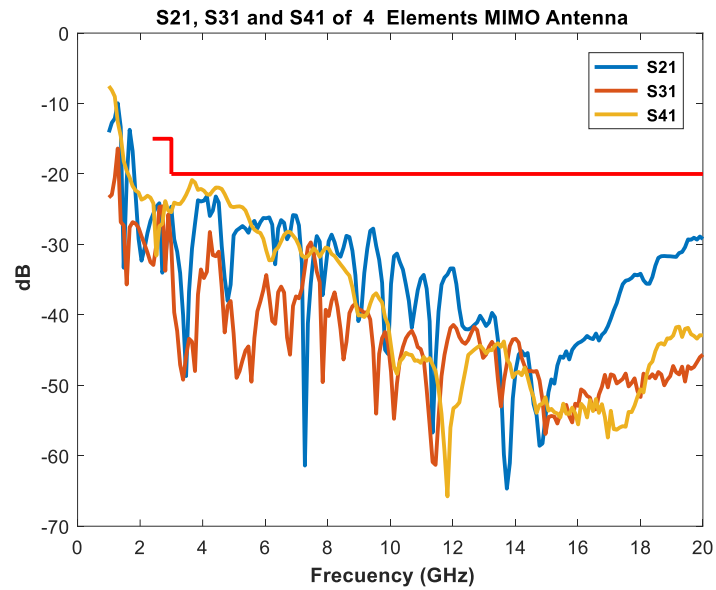


Figura 4.22 Parámetros S21, S31 y S41 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

El acoplamiento está por debajo de -15dB en la banda de trabajo y de -20dB en el resto de frecuencias, ya que no se ve el corte de la gráfica con la línea roja, mientras que la simulación el valor obtenido era de 3.1747 GHz.

Una vez llegados a este punto se puede concluir que los resultados obtenidos después de las mediciones de las antenas construidas arrojan unos resultados mejores que los obtenidos mediante las simulaciones con CST.

5 Conclusiones y trabajo futuro

Se han diseñado y construido 8 antenas MIMO UWB, además a tres de ellas se le añadió una banda en 2.4 GHz. Se empezó diseñando la antena de 1 elemento y replicando para obtener 2 y 4 elementos respectivamente añadiendo modificaciones y elementos extra en cada caso como son las barreras y la modificación de los planos de masa.

Se ha realizado una comparación entre los resultados obtenidos en la simulación y los resultados obtenidos en la medida con el analizador de espectros de las antenas construidas, obteniendo en todos los casos mejores medidas en las mediciones reales que las medidas observadas en las simulaciones mediante CST.

En la última parte de este trabajo fin de grado se ha realizado el estudio de una antena, pero incorporando dos filtros en las frecuencias de 5.5 GHz y 7.5 GHz

Después del diseño y las simulaciones se pasa a la generación de los gerbers y la construcción física de las antenas. Como punto final se realizan las mediciones de la antena con el analizador de espectros y se comparan los resultados obtenidos con los de las simulaciones

Como trabajo futuro, un posible estudio sería tratar de reducir aún más el tamaño de las antenas manteniendo las mismas características o ser capaz de radiar a frecuencias más altas.

También se podría tener en cuenta estudiar el comportamiento de las antenas para las nuevas redes de 5G.

Debería valorarse el cambio de los elementos de la construcción de las antenas, como por ejemplo utilizar un sustrato mejor y estudiar los cambios. [10]

Referencias

- [1] José Luis Masa Campos. Transparencias de la asignatura de Antenas y Compatibilidad Electromagnética. UAM, 2019-2020.
- [2] Jorge Alfonso Ruiz Cruz. Transparencias de la Asignatura Medios de Transmisión. UAM, 2018-2019.
- [3] IEEE. IEEE Draft Standard for Definitions of Terms for Antennas. P145/DD2, pages 1–38, 2103
- [4] Robert E. Collin. Foundations for Microwave Engineering. Wiley, 2001
- [5] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai. IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. IEEE Communications Magazine, pages 116–126, 1997.
- [6] D. F. Monà, E. S. Sakomura, and D. C. Nascimento. Microstrip-to-probe fed microstrip antenna transition. In 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation USNC/URSI National Radio Science Meeting, pages 1521–1522, 2018.
- [7] N. Kumar, K. K. Singh, and R. K. Badhai. A tapered feed circular monopole super ultrawideband (UWB) printed antenna. 2016
- [8] Kai Fong Lee-Kwai Man Luk. Microstrip Patch Antennas. Imperial College Press, 2017
- [9] Constantine A Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design. Wiley 1997
- [10] Xakata. <https://www.xataka.com/moviles/massive-mimo-dos-palabras-clave-para-entender-que-va-a-ser-5g>. 2019
- [11] J. Lee, K. Kim, H. Ryu and J. Woo. A Compact Ultrawideband MIMO Antenna With WLAN Band-Rejected Operation for Mobile Devices. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 11, pp. 990-993. 2012.
- [12] Ren, J., W. Hu, Y. Z. Yin, and R. Fan . Compact printed MIMO antenna for UWB applications. IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., Vol. 13, 1517–1520, 2014.

Glosario

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

UWB: Ultra-Wide Band

dB: Decibelio

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ECC: Envelope Correlation Coefficient

SMA: Subminiature version A

WLAN: Wireless Local Area Network

GHz: GigaHercio

MHz: MegaHercio

ADS Advance Design Software

CST Computer Simulation

Anexos

A Diagramas de Radiación

Llamamos diagrama de radiación a la representación gráfica normalmente en coordenadas esféricas de la radiación de una antena, que se determina a partir del campo lejano de la propia antena. Es necesario determinar el campo eléctrico y magnético, aunque este último es perpendicular al campo eléctrico.

Se han calculado los diagramas de radiación para las siguientes frecuencias en GHz: 4, 7, 10, 14 y 19. En los diagramas de radiación se distinguen dos planos, el plano E con un valor de $\Phi = 90^\circ$ y el plano H con un valor de $\Theta = 0^\circ$.

En el caso de los diseños que incorporan la banda de 2.4 GHz se incluyen un diagrama de radiación con la frecuencia central de la banda siendo esta frecuencia ligeramente diferente para el diseño de uno, dos y cuatro elementos

A.1 Antena UWB 1 Elemento

4 GHz

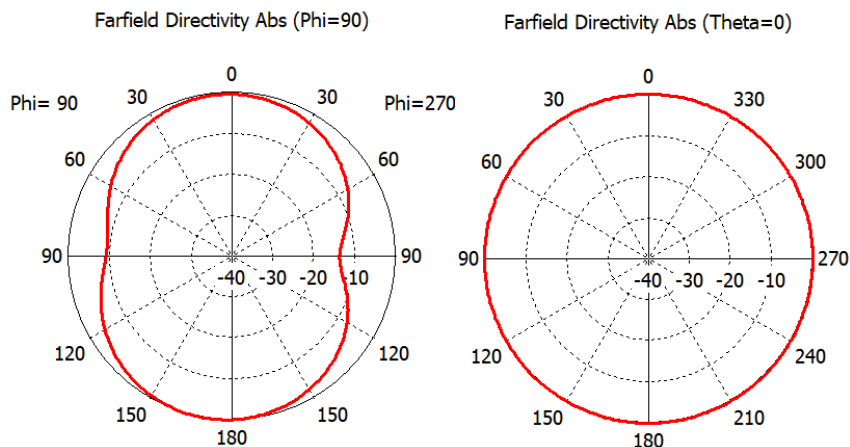


Figura A.1 Diagrama Radiación 4 GHz Antena UWB 1 Elemento

7 GHz

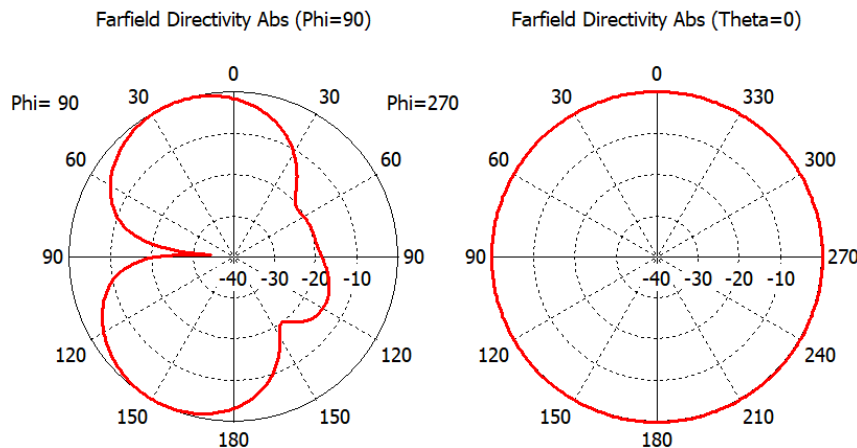


Figura A.2 Diagrama Radiación 7 GHz Antena UWB 1 Elemento

10 GHz

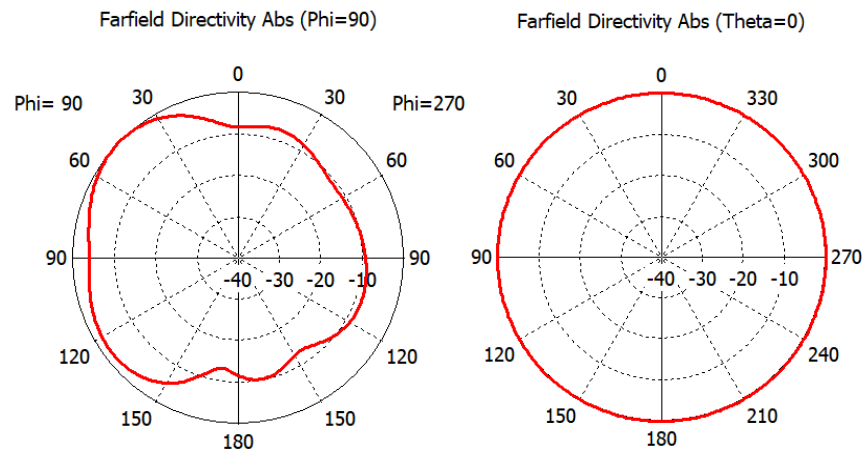


Figura A.3 Diagrama Radiación 10 GHz Antena UWB 1 Elemento

14 GHz

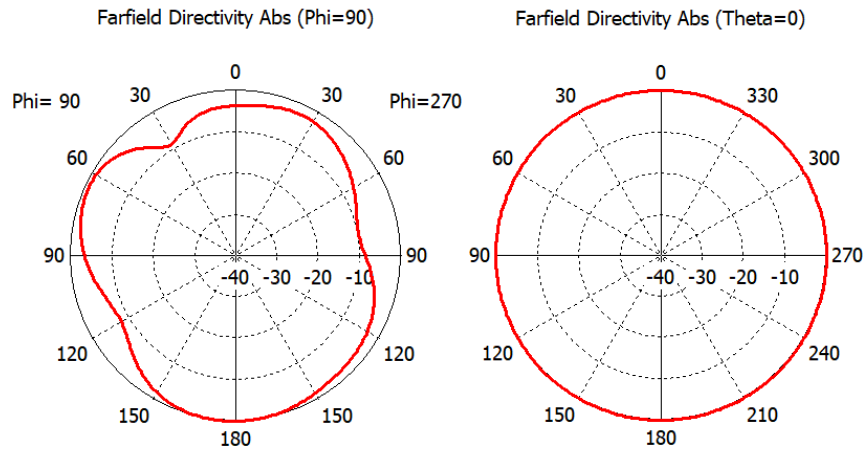


Figura A.4 Diagrama Radiación 14 GHz Antena UWB 1 Elemento

19 GHz

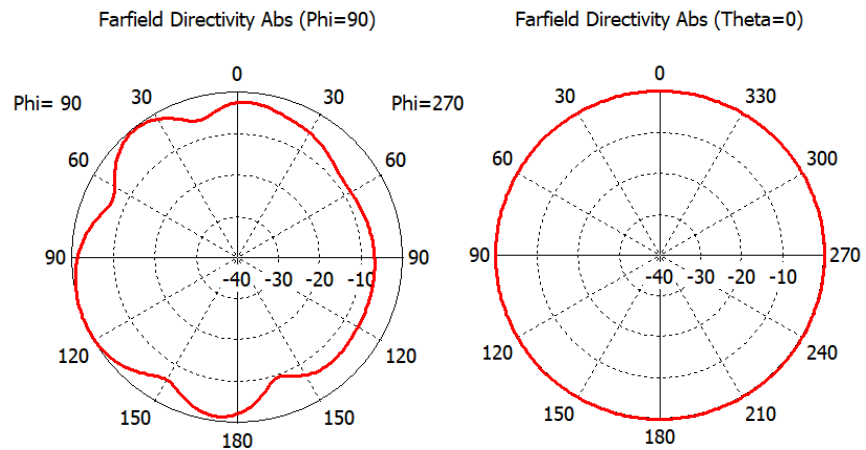


Figura A.5 Diagrama Radiación 19 GHz Antena UWB 1 Elemento

Parámetro	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	2.495	4.216	6.258	6.384	5.387
Eficiencia Radiación dB	-0.5644	-0.7210	-0.8682	-1.180	-1.822
Ganancia dBi	1.9306	3.495	5.3898	5.204	3.565
Eficiencia Total dB	-0.6943	-1.022	-0.9421	-1.196	-1.925
Ganancia Realizada dBi	1.8007	3.194	5.3159	5.188	3.462

Tabla 9 Parámetros de Radiación Antena UWB 1 Elemento

A.2 Antena MIMO UWB 2 Elementos

A.2.1 Diseño 1

4 GHz

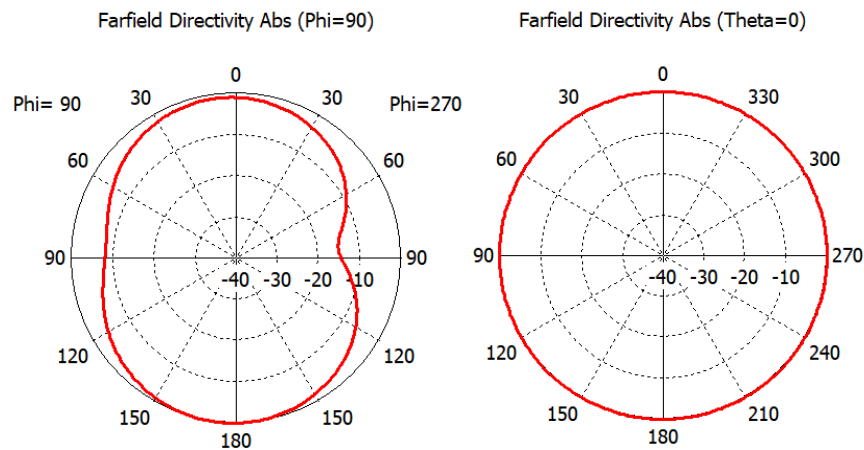


Figura A.6 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

7 GHz

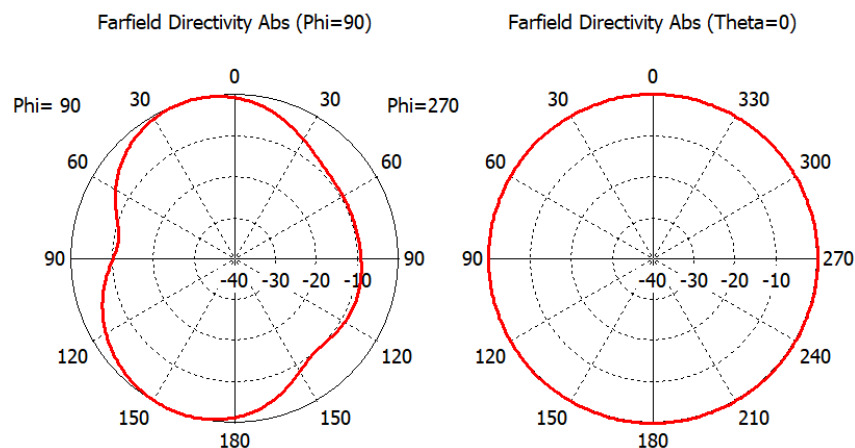


Figura A.7 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

10 GHz

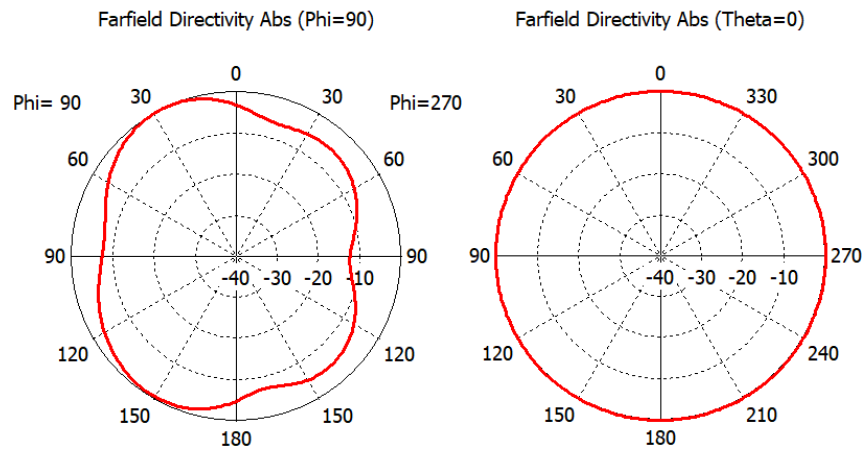


Figura A.8 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

14 GHz

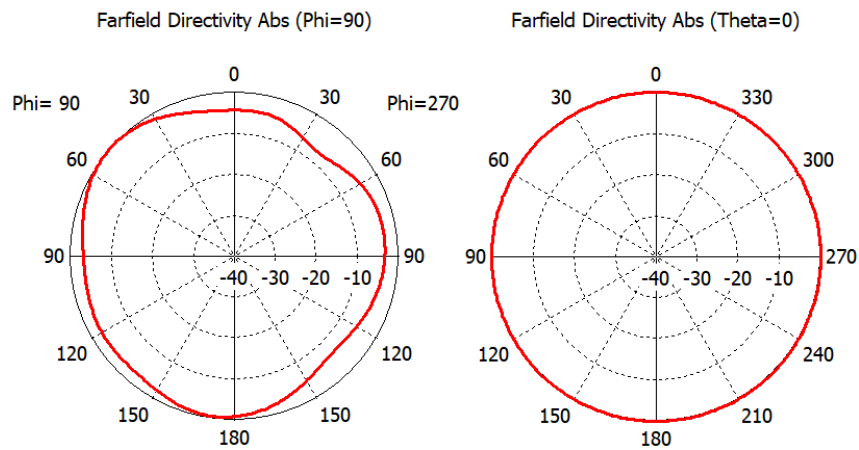


Figura A.9 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

19 GHz

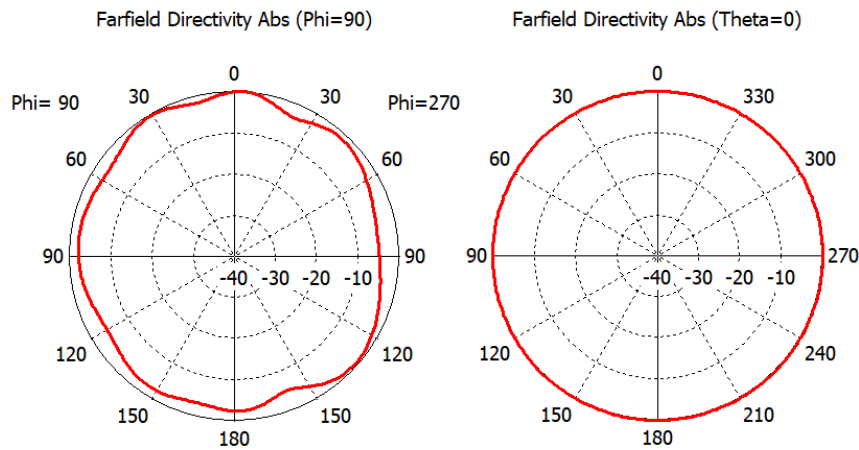


Figura A.10 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

Parámetro	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	4.259	7.189	6.246	5.016	6.441
Eficiencia Radiación dB	-0.5188	-0.9544	-1.101	-1.379	-2.232
Ganancia dBi	3.7402	6.2346	5.145	3.637	4.209
Eficiencia Total dB	-0.6445	-1.155	-1.218	-1.455	-2.326
Ganancia Realizada dBi	3.6145	6.034	5.028	3.561	4.115

Tabla 10 Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 1

A.2.2 Diseño 2

4 GHz

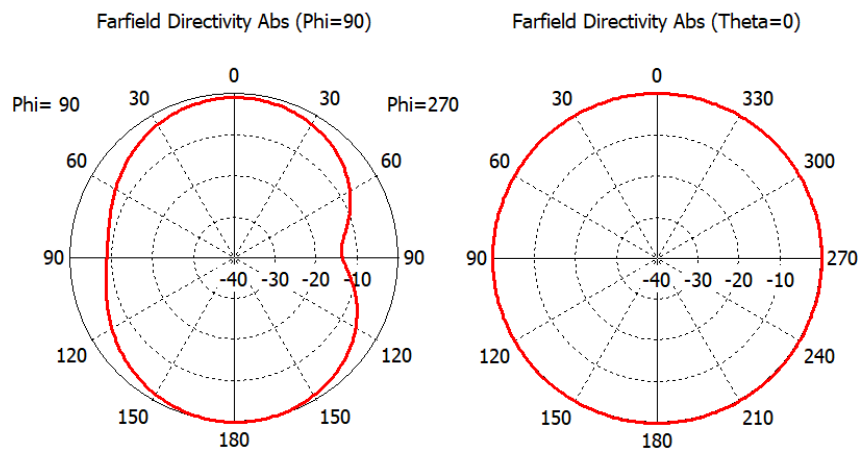


Figura A.11 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

7 GHz

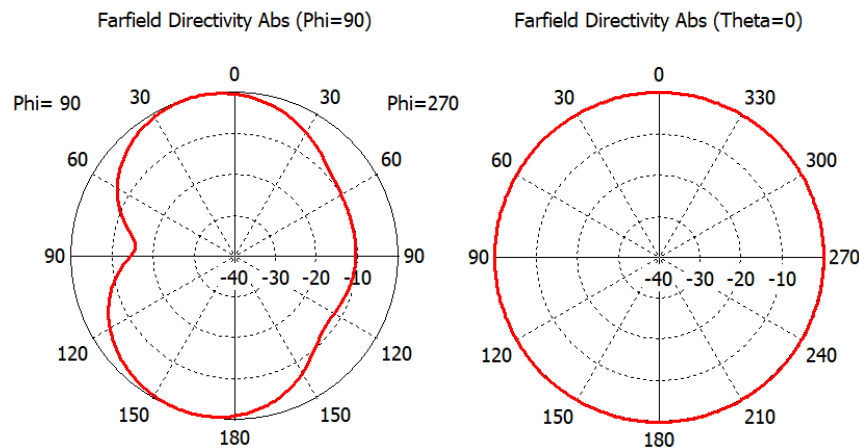


Figura A.12 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

10 GHZ

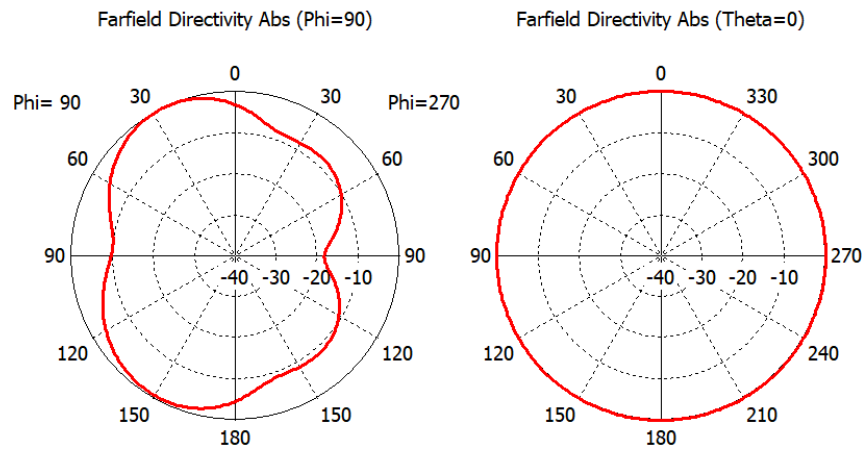


Figura A.13 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

14 GHz

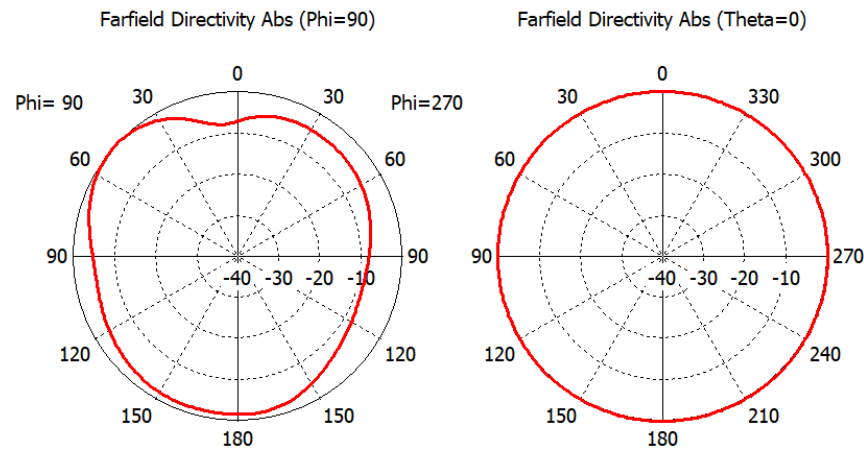


Figura A.14 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

19 GHz

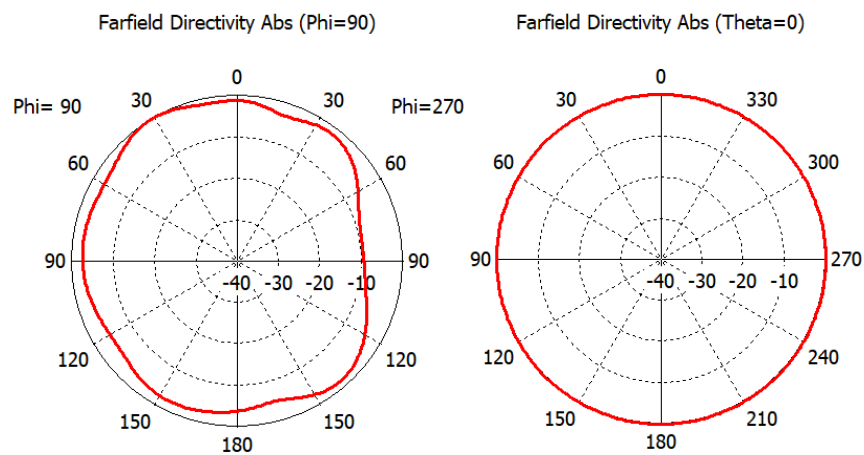


Figura A.15 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

Parámetro	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	4.180	5.037	6.601	5.474	7.194
Eficiencia Radiación dB	-0.7492	-0.8281	-1.104	1.399	-2.208
Ganancia dBi	3.4308	4.2089	5.497	4.075	4.986
Eficiencia Total dB	-0.8237	-1.273	-1.211	-1.457	-2.277
Ganancia Realizada dBi	3.3563	3.764	5.39	4.017	4.917

Tabla 11 Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 2 Elementos Diseño 2

A.3 Antena MIMO UWB 4 Elementos

4 GHz

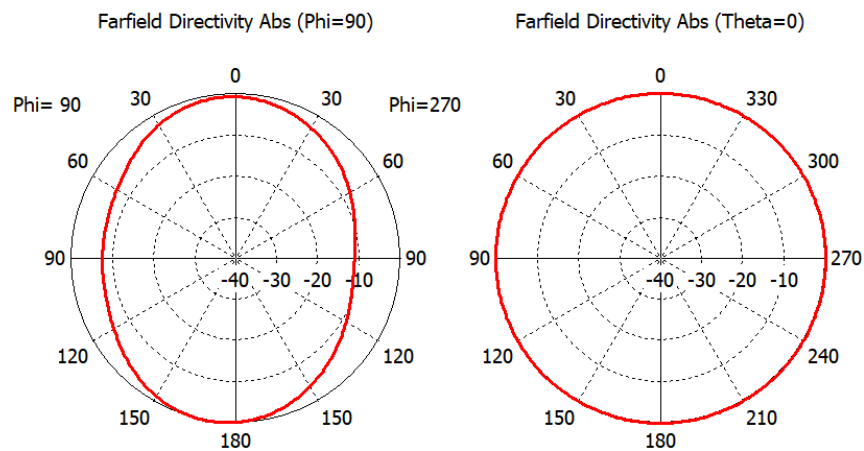


Figura A.16 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

7 GHz

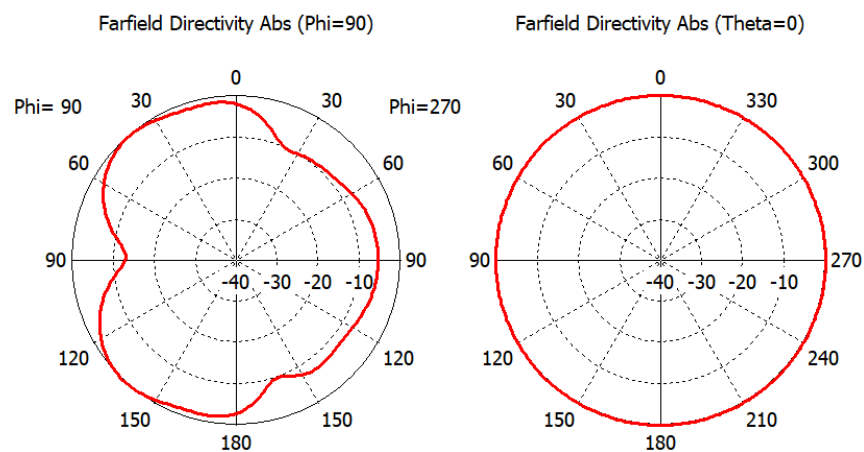


Figura A.17 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

10 GHz

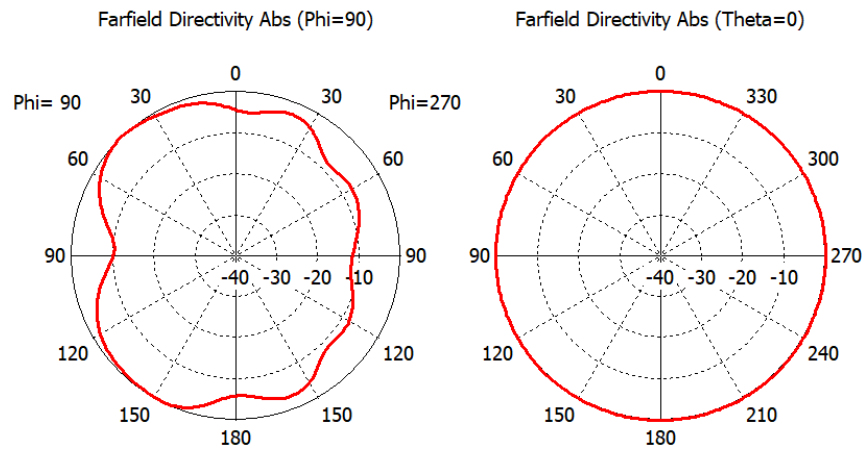


Figura A.18 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

14 GHz

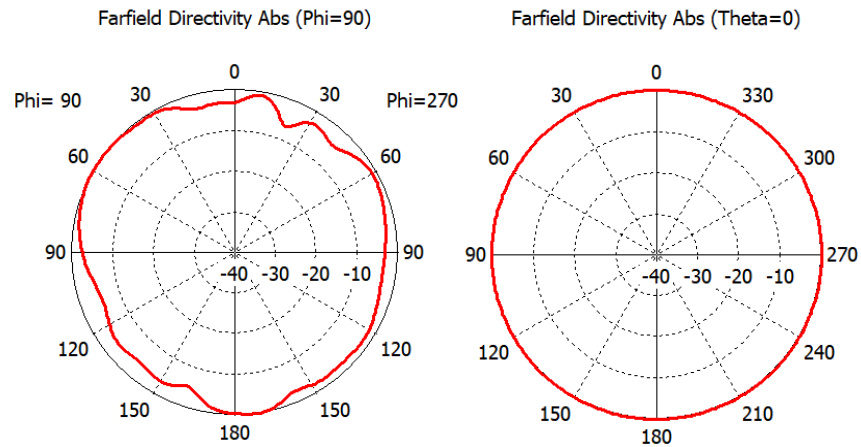


Figura A.19 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

19 GHz

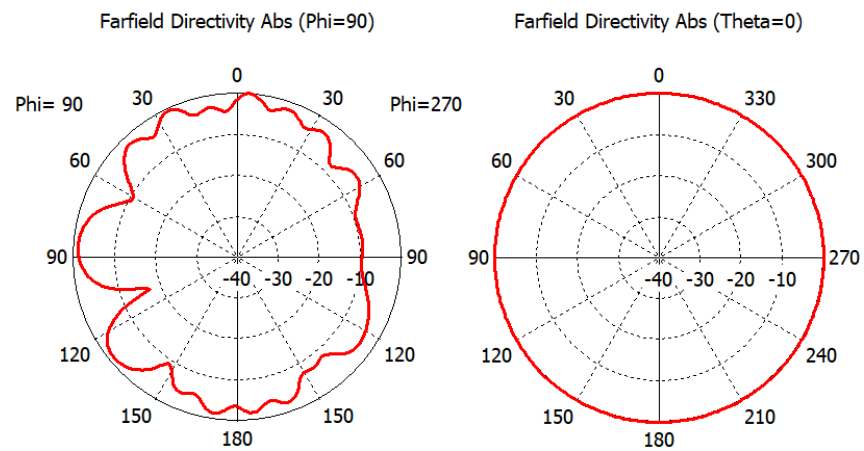


Figura A.20 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB 4 Elementos

Parámetro	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	4.634	5.481	6.531	4.926	6.958
Eficiencia Radiación dB	-0.7169	-1.118	-1.036	-1.450	-2.216
Ganancia dBi	3.9171	4.363	5.495	3.476	4.742
Eficiencia Total dB	-0.7594	-1.234	-1.137	-1.489	-2.232
Ganancia Realizada dBi	3.8746	4.247	5.394	3.437	4.726

Tabla 12 Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB 4 Elementos

A.4 Antena UWB + Banda 2.4 GHz de 1 Elemento

2.387 GHz

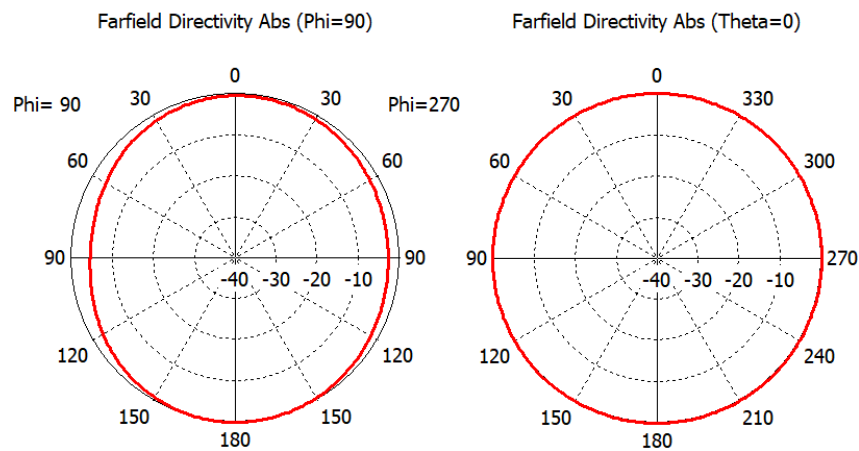


Figura A.21 Diagrama Radiación 2.387 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

4 GHz

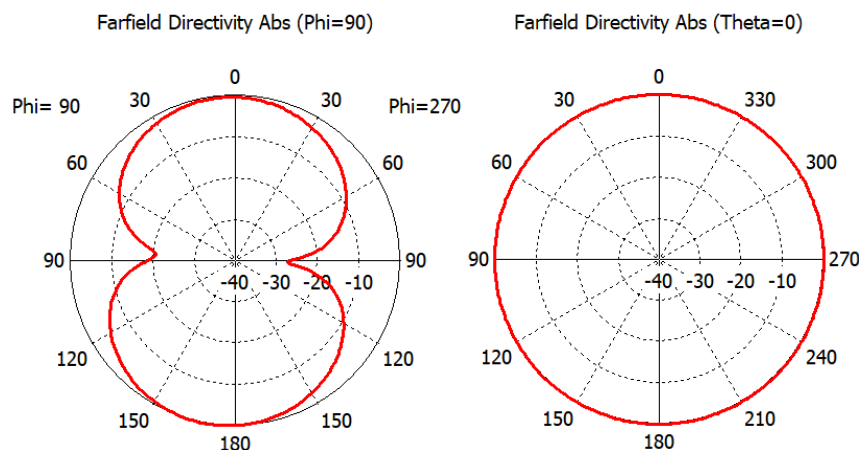


Figura A.22 Diagrama Radiación 4 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

7 GHz

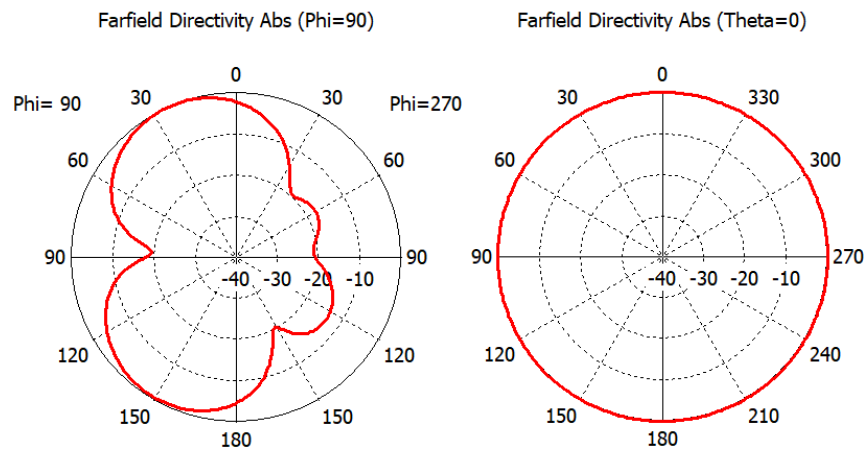


Figura A.23 Diagrama Radiación 7 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

10 GHz

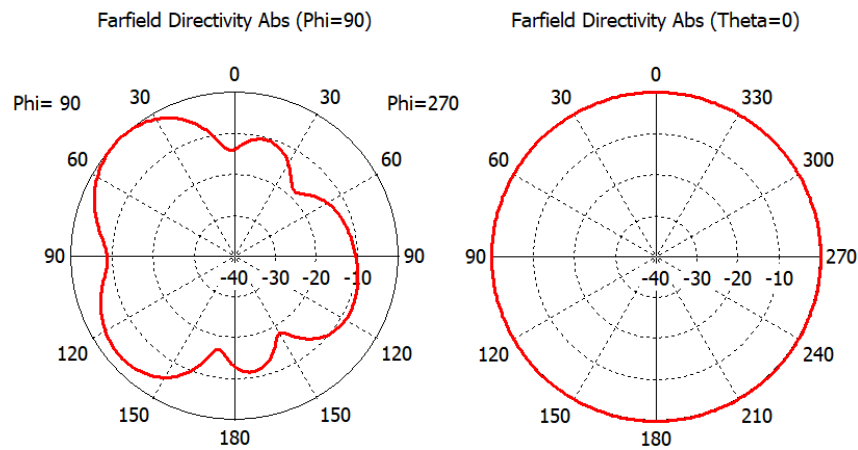


Figura A.24 Diagrama Radiación 10 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

14 GHz

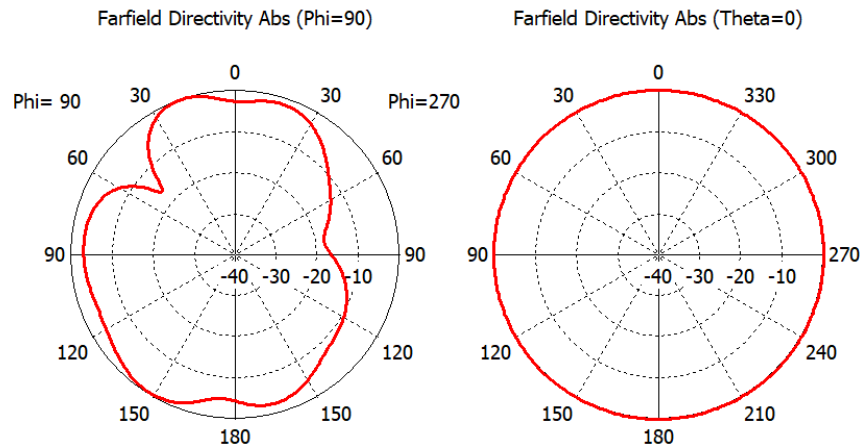


Figura A.25 Diagrama Radiación 14 GHz Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

19 GHz

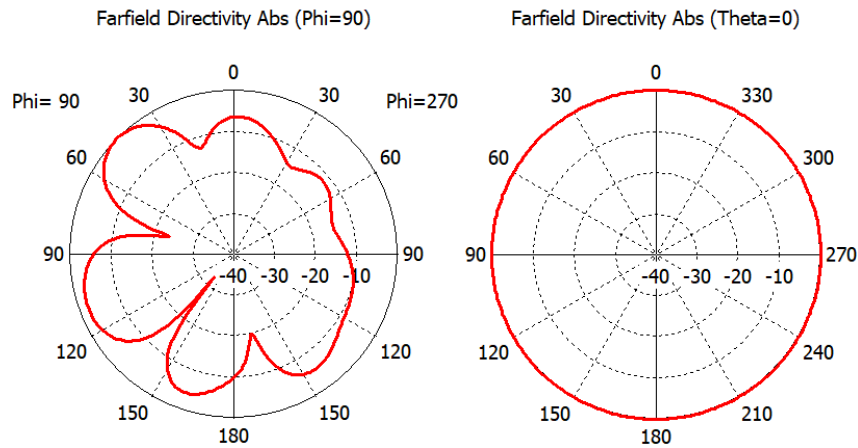


Figura A.26 Diagrama Radiación 19 GHz Antena UWB+ Banda 2.4 GHz 1 Elemento

Parámetro	f= 2.387 GHz	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	1.996	2.9	5.148	6.403	6.237	5.203
Eficiencia Radiación dB	-3.399	-0.4773	-0.6154	-0.8949	-1.561	-2.184
Ganancia dBi	-1.403	2.4227	4.5326	5.5081	4.676	3.019
Eficiencia Total dB	-3.473	-0.5978	-0.8624	-0.9659	-1.586	-2.316
Ganancia Realizada dBi	-1.477	2.3022	4.2856	5.4371	4.651	2.887

Tabla 13 Parámetros de Radiación Antena UWB + Banda 2.4 GHz 1 Elemento

A.5 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 2 Elementos

2.48 GHz

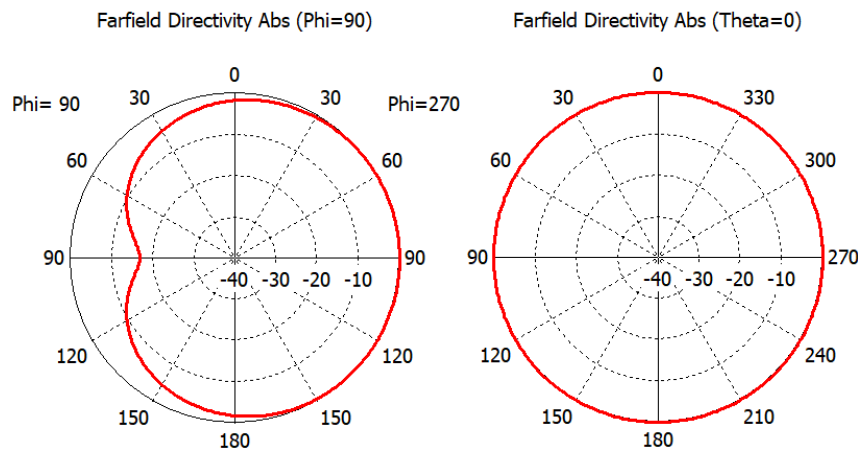


Figura A.27 Diagrama Radiación 2.48 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

4 GHz

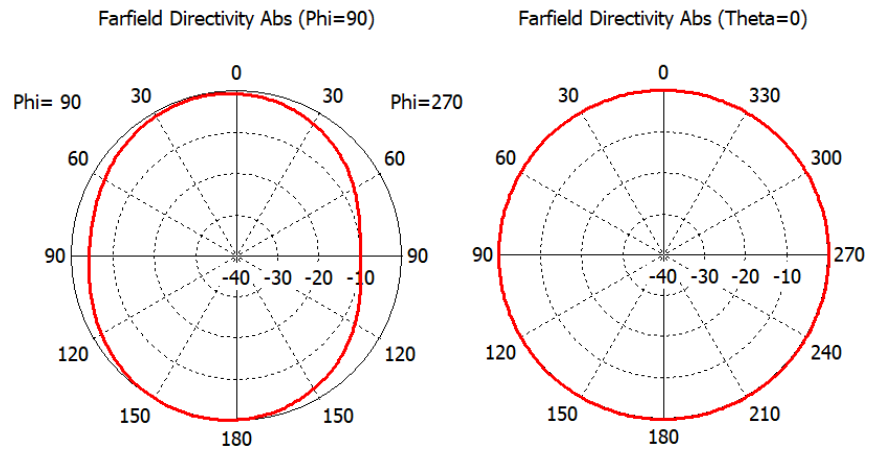


Figura A.28 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

7 GHz

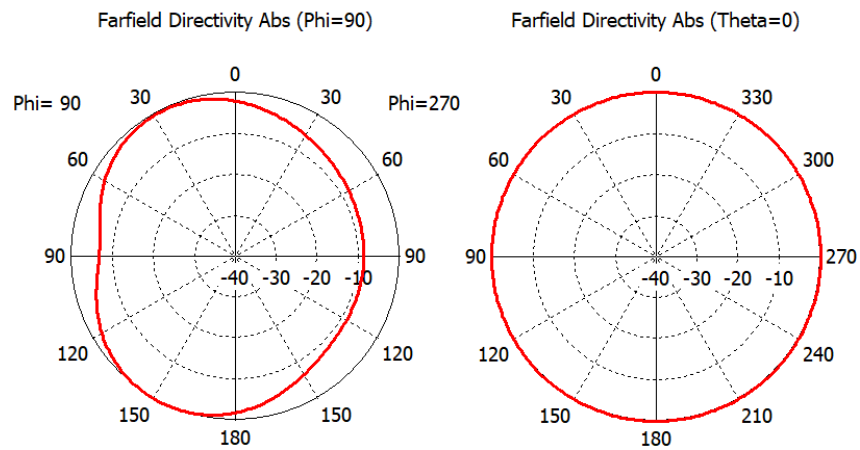


Figura A.29 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

10 GHz

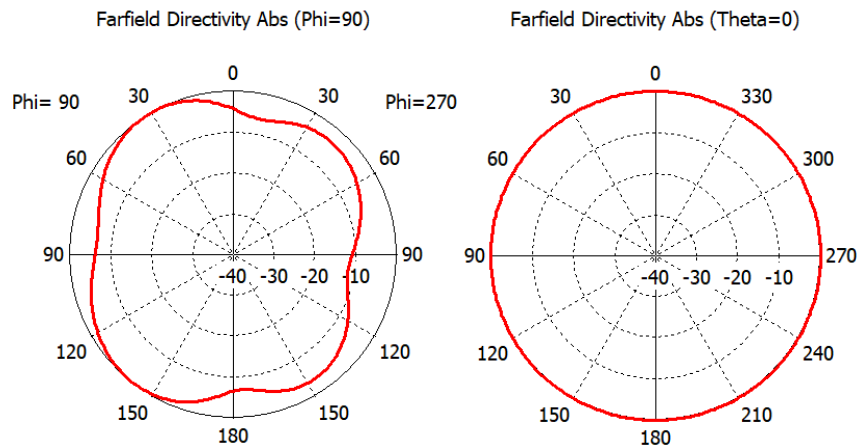


Figura A.30 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

14 GHz

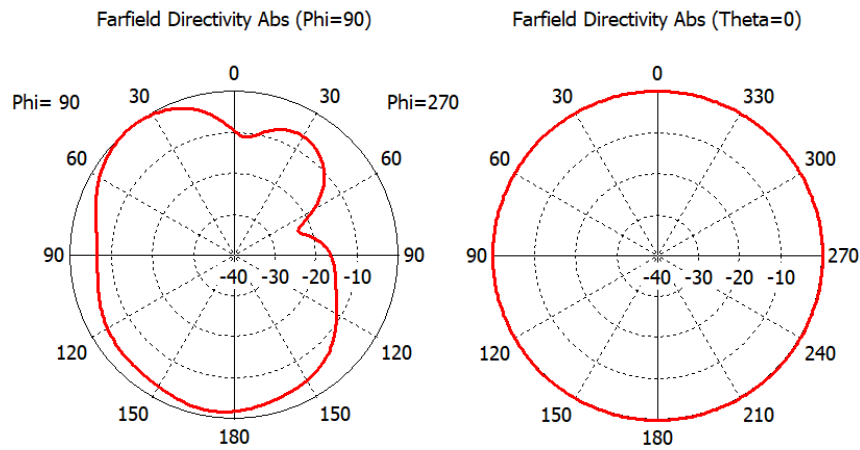


Figura A.31 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

19 GHz

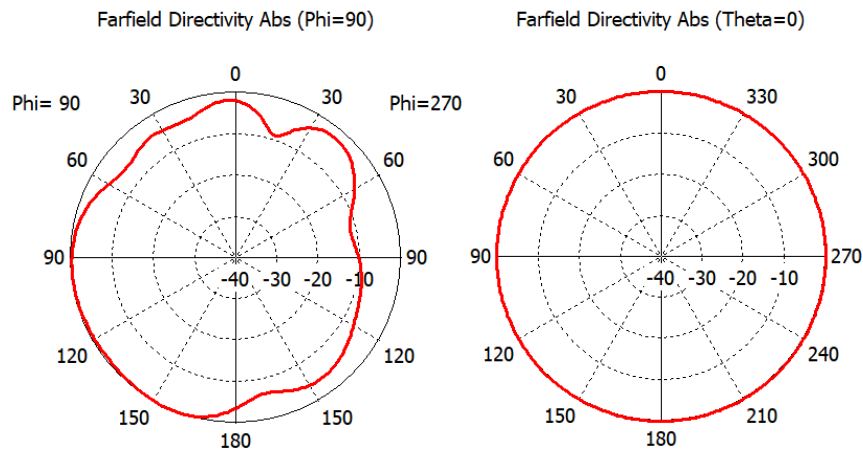


Figura A.32 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

Parámetro	f= 2.48 GHz	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	2.953	3.810	5.449	5.825	6.444	5.633
Eficiencia Radiación dB	-3.598	-0.5688	-0.9349	-1.017	-1.689	-2.313
Ganancia dBi	-0.645	3.2412	4.5141	4.808	4.755	3.320
Eficiencia Total dB	-3.759	-0.6126	-0.9542	-1.241	-1.738	-2.670
Ganancia Realizada dBi	-0.806	3.1974	4.4948	4.584	4.706	2.963

Tabla 14 Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 2 Elementos

A.6 Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz de 4 Elementos

2.444 GHz

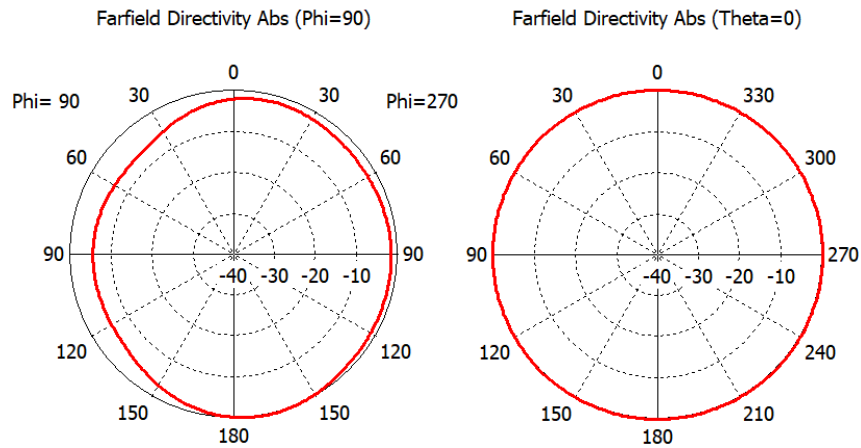


Figura A.33 Diagrama Radiación 2.444 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

4 GHz

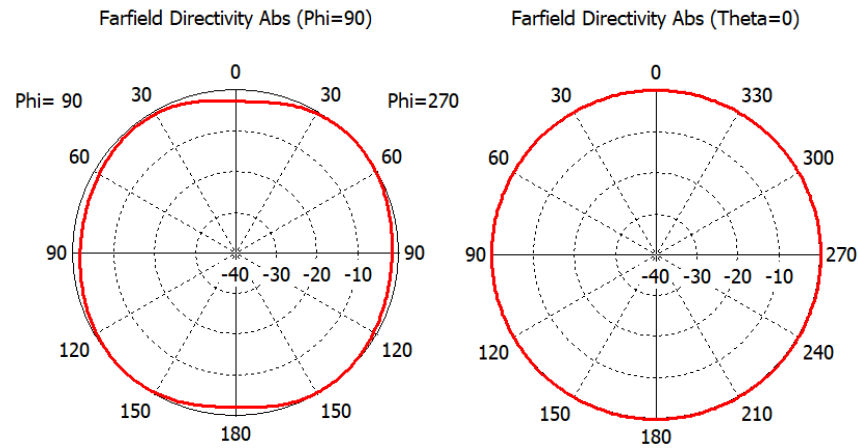


Figura A.34 Diagrama Radiación 4 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

7 GHz

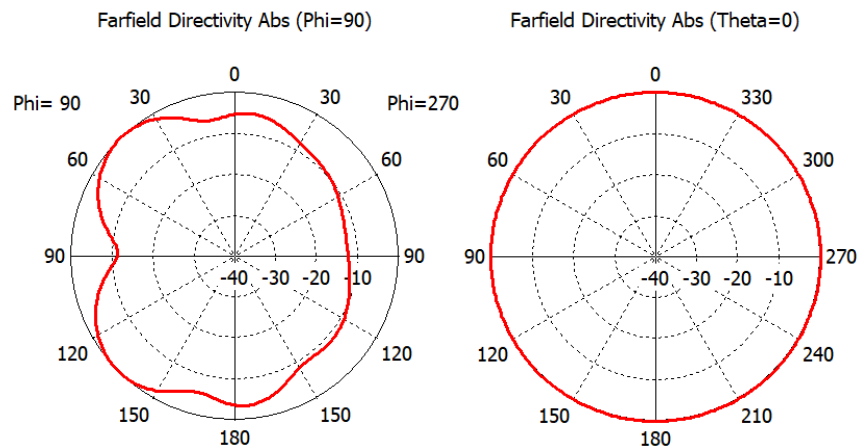


Figura A.35 Diagrama Radiación 7 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

10 GHz

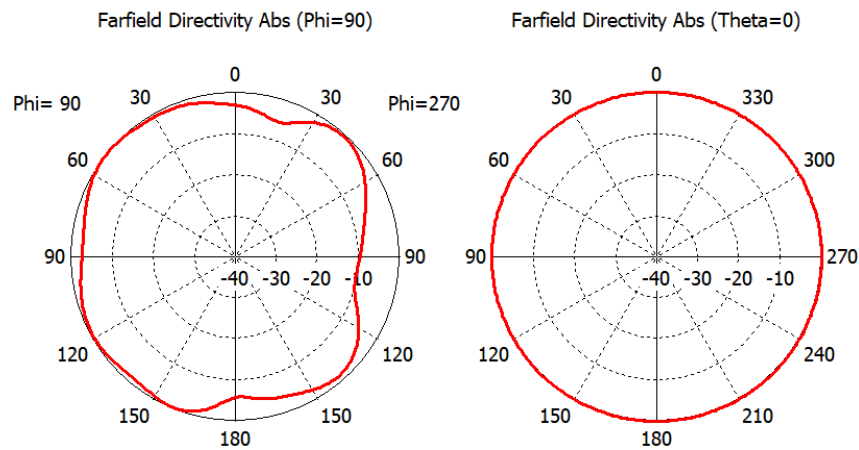


Figura A.36 Diagrama Radiación 10 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

14 GHz

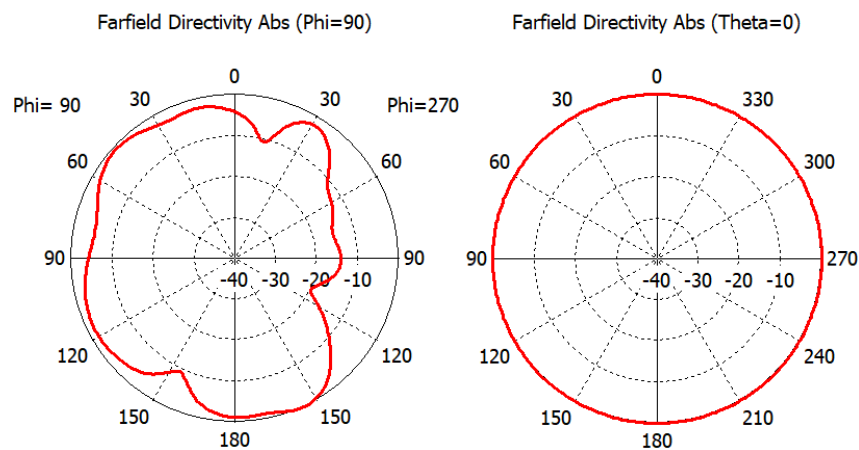


Figura A.37 Diagrama Radiación 14 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

19 GHz

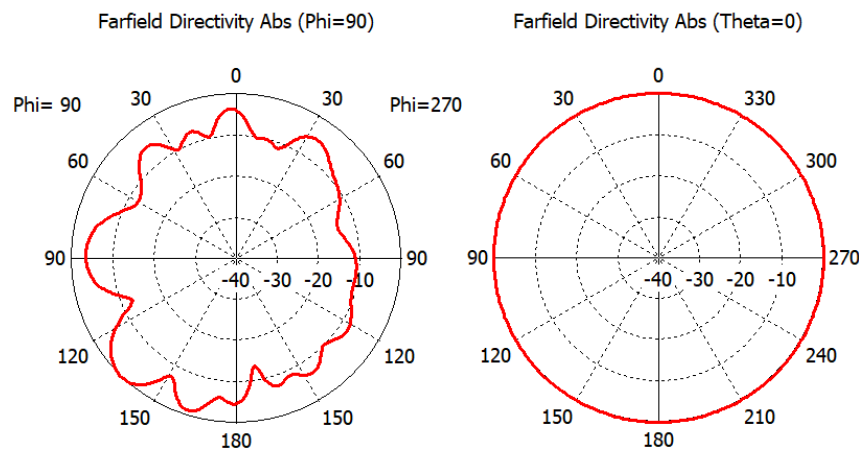


Figura A.38 Diagrama Radiación 19 GHz Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

Parámetro	f= 2.444 GHz	f= 4 GHz	f= 7 GHz	f= 10 GHz	f= 14 GHz	f= 19 GHz
Directividad dBi	3.797	4.073	6.398	6.021	5.678	8.304
Eficiencia Radiación dB	-3.860	-0.7218	-1.472	-1.271	1.837	-2.418
Ganancia dBi	-0.063	3.3512	4.926	4.750	4.291	5.886
Eficiencia Total dB	-3.949	-0.7327	-1.633	-1.542	-1.906	-2.729
Ganancia Realizada dBi	-0.152	3.3403	4.765	4.479	3.772	5.575

Tabla 15 Parámetros de Radiación Antena MIMO UWB + Banda 2.4 GHz 4 Elementos

B Antena UWB con dos filtros

Por último, se diseñó una antena de un único elemento con dos filtros, uno en 5.5 GHz y el otro en 7.5 GHz

Para la creación de los filtros se toma como punto de partida del elemento unitario original y se le añade una línea vertical en el lado izquierdo superior de la línea de alimentación y además se le quita metal en forma de U en la parte del elemento radiante.

La línea vertical se corresponde con el filtro en 7.5 GHz, mientras que el elemento en forma de U se trata del filtro en 5.5 GHz

Como todas las dimensiones del elemento radiante son las mismas que en el diseño 3.1. La anchura de los dos filtros es de 0.4 mm.

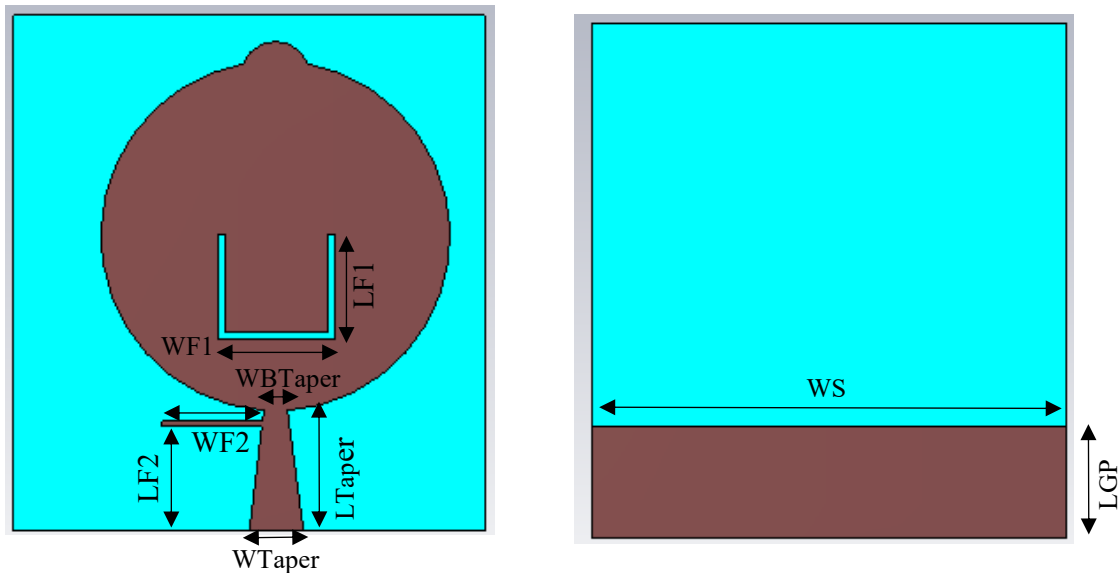


Figura B.1 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz 7.5 GHz

Parámetros	mm
LF1	6
LF2	6
WF1	6.76
WF2	5.76
WTaper	3.1
WBTaper	0.6
LTaper	7
WS	27
LGP	6.4

Tabla 9 Parámetros Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz 7.5 GHz

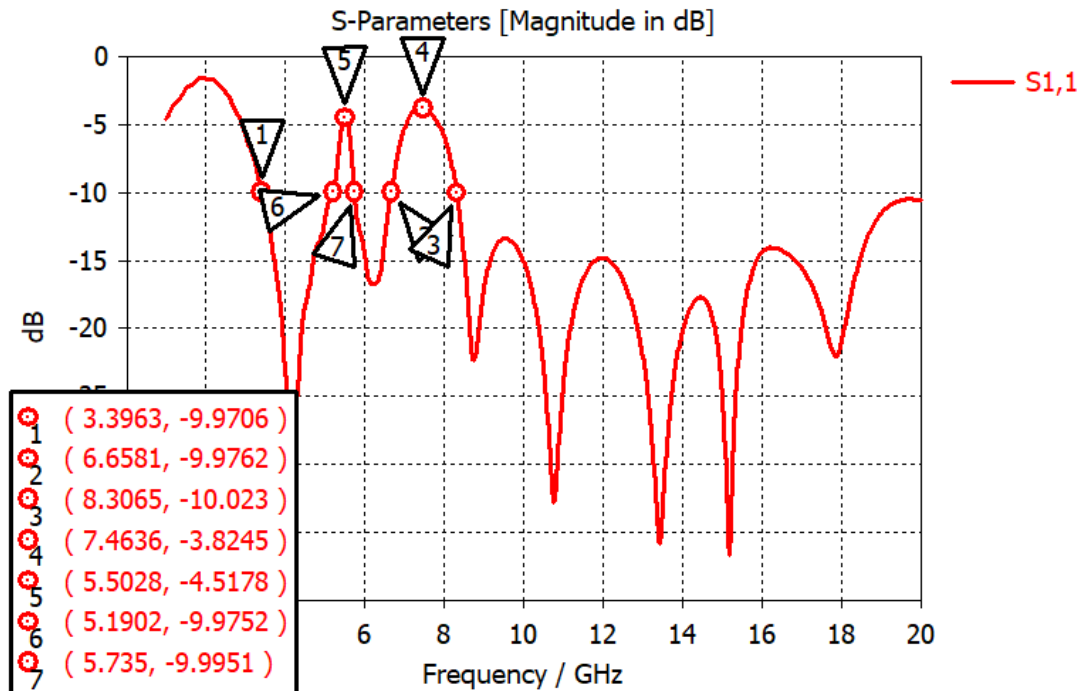


Figura B.2 Parámetros S11 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

Observamos en la gráfica de los parámetros S_{11} que la frecuencia de trabajo mínima es de 3.3963 GHz. Se observan los dos filtros

El primer filtro está centrado en 5.5028 GHz con una banda contenida entre las frecuencias de 5.1902 GHz y 5.735 GHz teniendo por tanto un ancho de banda de 543 MHz.

El segundo filtro está centrado en 7.4636 GHz con una banda contenida entre las frecuencias de 6.6581 GHz y 8.3065 GHz teniendo por tanto un ancho de banda de 1648.4 MHz.

A partir del valor de 8.3065 GHz nos quedamos ya por debajo de -10 dB en el resto de frecuencias superiores hasta 20 GHz.

Después de realizar la simulación se procede a la construcción de la antena y su medida con el analizador de espectros obteniendo lo siguiente:

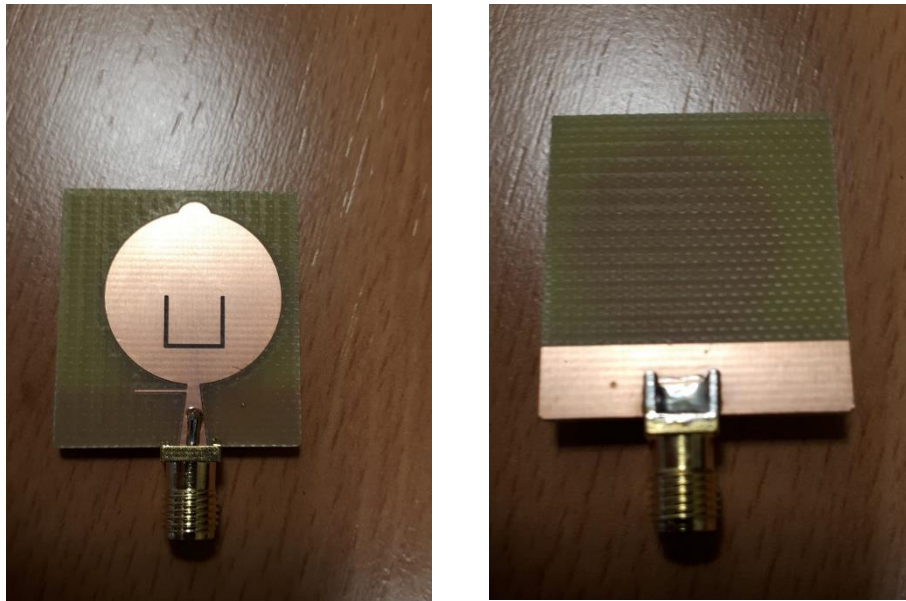


Figura B.3 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

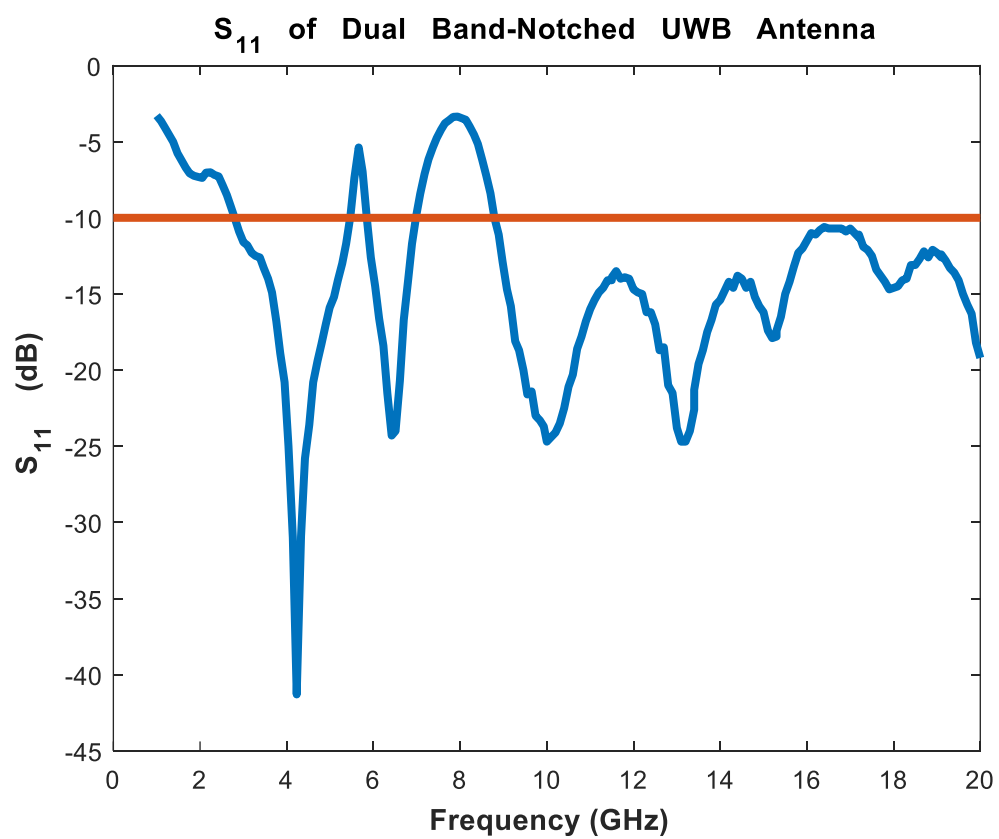


Figura B.4 Parámetros S_{11} Antena UWB 1 Elemento + Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

Se han realizado una simulación hasta 50 GHz y se muestran los resultados de dicha simulación, realizando una comparativa entre las simulaciones de 20 GHz y 50 GHz.

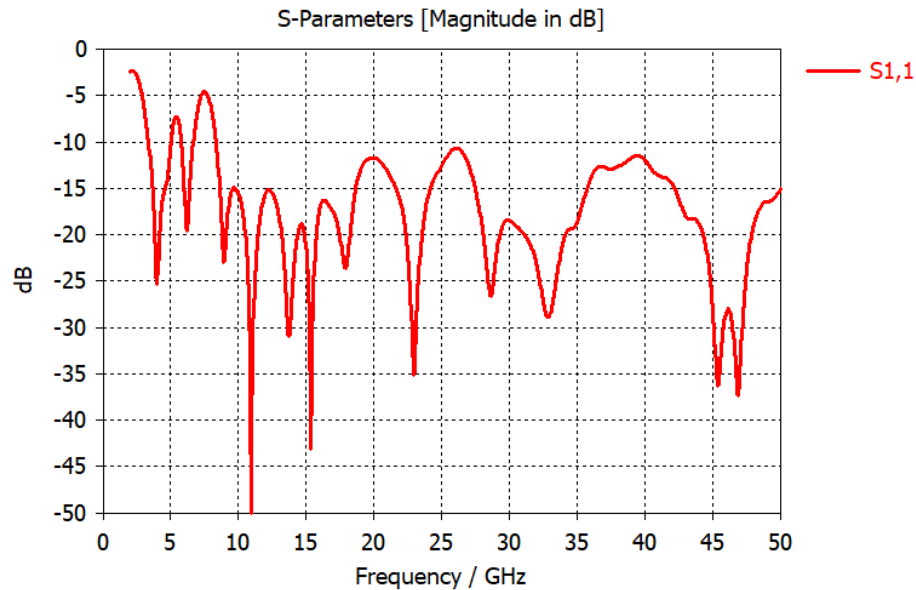


Figura B.3 Parámetros S11 50 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

La frecuencia mínima de trabajo se observa en los parámetros S_{11} y se observa como a partir Del valor en el que sale del segundo filtro nos quedamos ya con un valor de -10 dB hasta 50 GHz. En esta simulación también se observan los dos filtros.

Para este diseño con filtros también se han calculado los diagramas de radiación para las siguientes frecuencias en GHz: 3.5, 9, 14, 17 y 20.

Además, se han incluido las frecuencias que son los extremos de las bandas para el filtro de 5.5 GHz y 7.5 GHz siendo estas frecuencias 5.2 GHz y 5.75 GHz para el primer filtro y 6.65 GHz y 8.3 GHz para el segundo filtro.

En los diagramas de radiación se distinguen dos planos, el plano E con un valor de $\Phi = 90^\circ$ y el plano H con un valor de $\Theta = 0^\circ$.

3.5 GHz

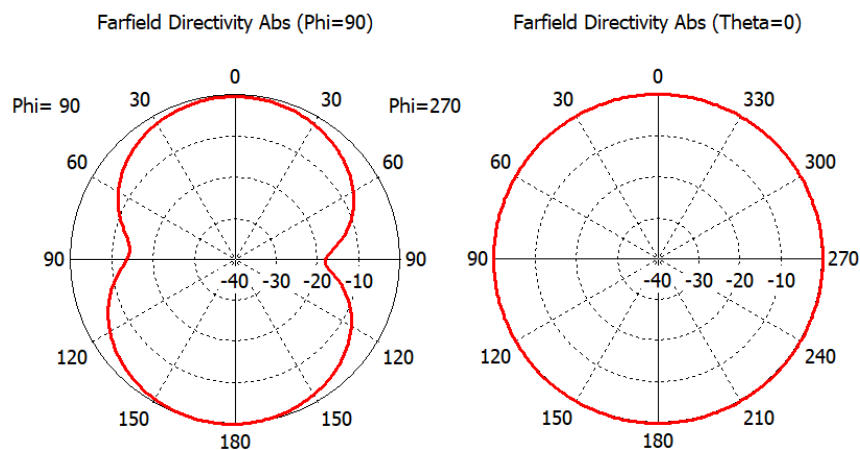


Figura B.4 Diagrama Radiación 3.5 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

5.2 GHz

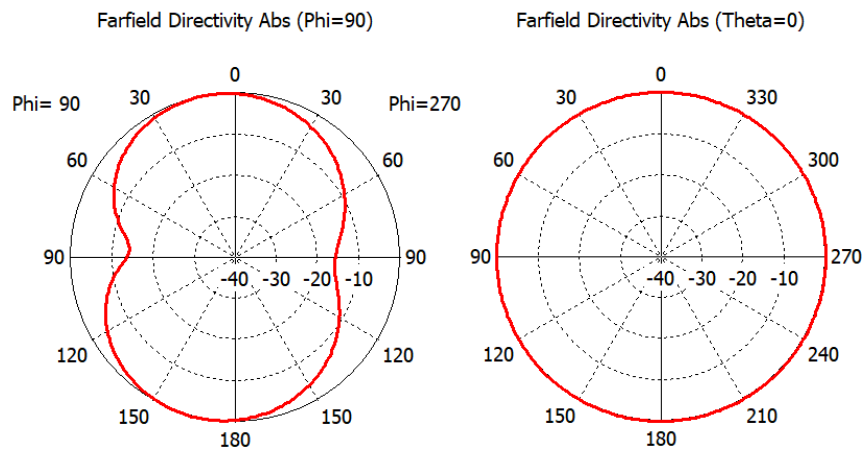


Figura B.5 Diagrama Radiación 3.5 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

5.75 GHz

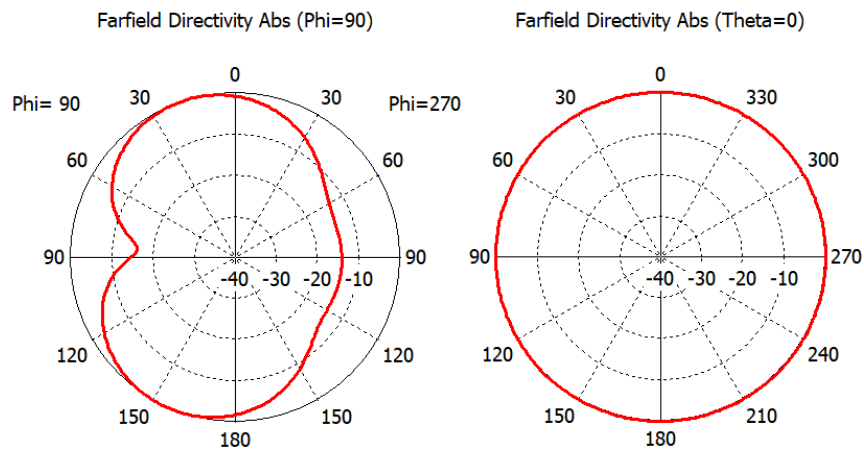


Figura B.6 Diagrama Radiación 5.75 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

6.65 GHz

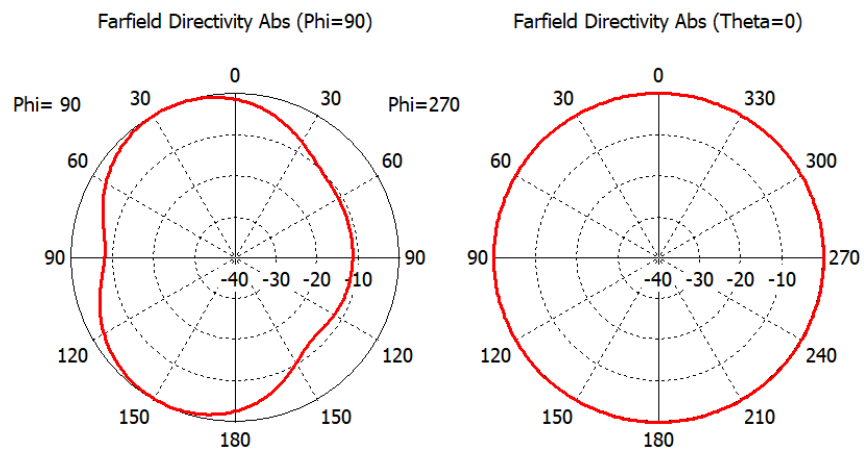


Figura B.7 Diagrama Radiación 3.5 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

8.3 GHz

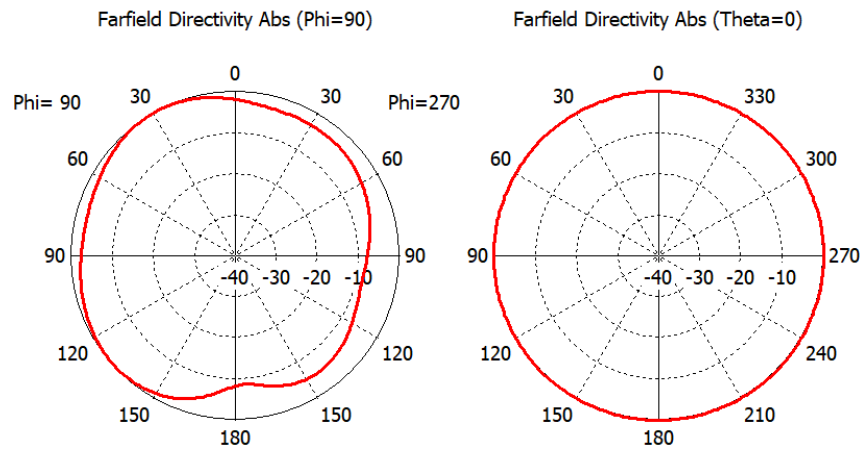


Figura B.8 Diagrama Radiación 8.3 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

9 GHz

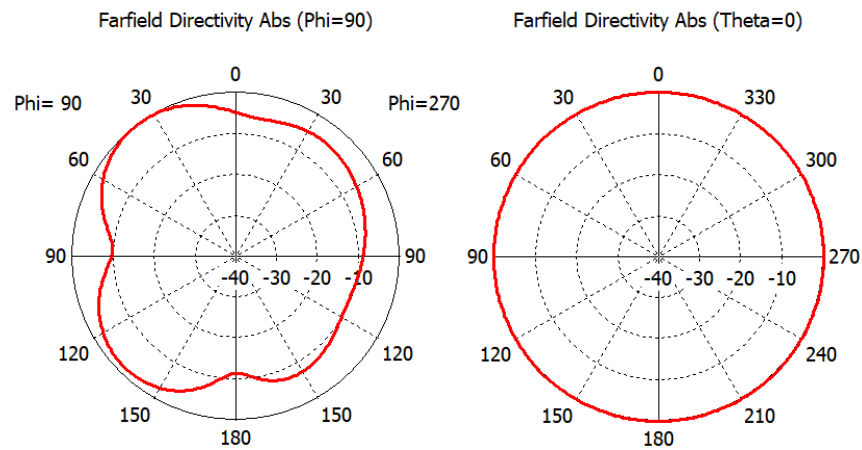


Figura B.9 Diagrama Radiación 9 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

14 GHz

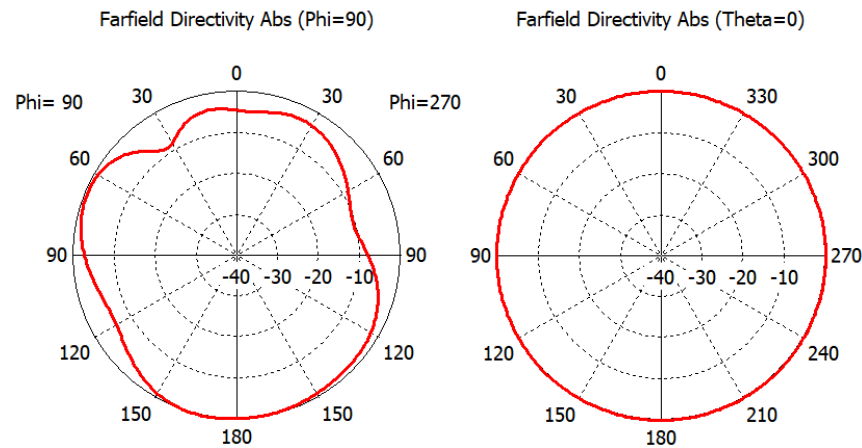


Figura B.10 Diagrama Radiación 14 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

17 GHz

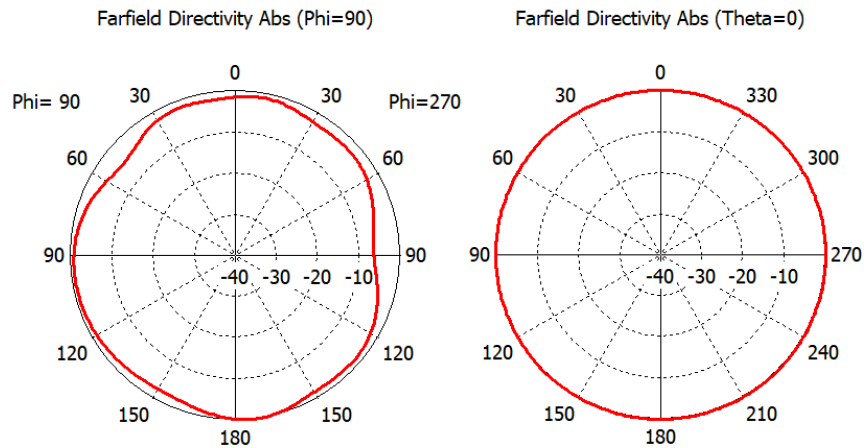


Figura B.11 Diagrama Radiación 17 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

20 GHz

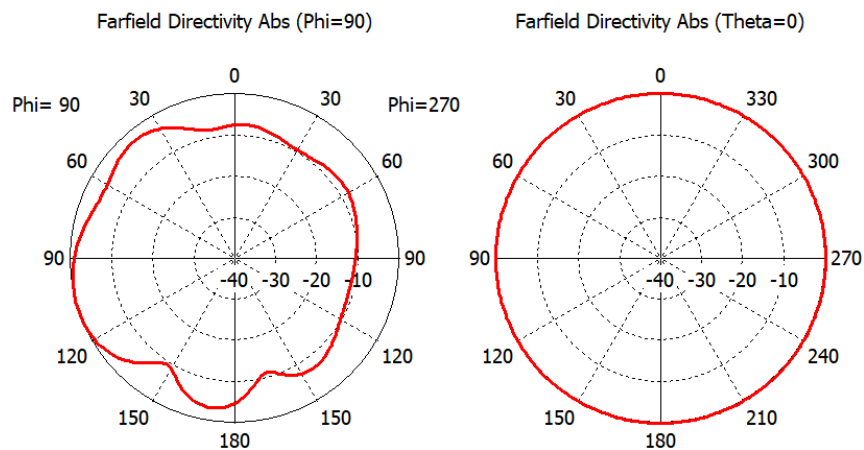


Figura B.12 Diagrama Radiación 20 GHz Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

Parámetro	f= 3.5 GHz	f= 5.2 GHz	f= 5.75 GHz	f= 6.65 GHz	f= 8.3 GHz
Directividad dBi	2.448	3.521	2.463	3.90	5.141
Eficiencia Radiación dB	-1.139	-1.226	-2.205	-1.164	-1.799
Ganancia dBi	1.209	2.295	0,258	2.735	3.342
Eficiencia Total dB	-1.424	-1.949	-2.724	-1.596	-2.314
Ganancia Realizada dBi	1.024	1.572	-0.261	2.304	2.827

Tabla 17 Parámetros de Radiación 1 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

Parámetro	f= 9 GHz	f= 14 GHz	f= 17 GHz	f= 20 GHz
Directividad dBi	6.410	6.799	5.350	6.346
Eficiencia Radiación dB	-1.141	-1.487	-1.670	-1.970
Ganancia dBi	5.269	5.312	3.680	4.376
Eficiencia Total dB	-1.167	-1.50	-1.747	-2.271
Ganancia Realizada dBi	5.243	5.299	3.603	4.075

Tabla 18 Parámetros de Radiación 2 Antena UWB 1 Elemento Filtros 5.5 GHz y 7.5 GHz

